

AECOM



Dictamen sobre la dinámica litoral y efectos del cambio climático ante el aterrizaje de un cable submarino en la playa de la Virgen del Mar (Cantabria)

**Fundación Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria
Universidad de Cantabria**

19 de noviembre de 2025

ÁMBITO- PREFIJO

GEISER

Nº registro

REGAGE26e00049138970

CSV

GEISER-f24d-a9fb-332b-6774-4942-df56-c1f4-c7cf

DIRECCIÓN DE VALIDACIÓN

<https://run.gob.es/hsbzvympyF>

FECHA Y HORA DEL DOCUMENTO

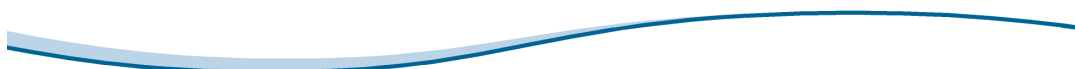
22/05/2026 13:05:53 Horario peninsular



GEISER-f24d-a9fb-332b-6774-4942-df56-c1f4-c7cf

ÍNDICE

1. Introducción y antecedentes	- 1 -
2. Información de partida	- 7 -
2.1. Oleaje	- 7 -
2.2. Nivel del mar	- 10 -
2.3. Topobatimetría	- 14 -
2.4. Geofísica	- 16 -
2.5. Sedimento granular de la playa	- 18 -
2.6. Ortofotos e imágenes satelitales	- 19 -
2.7. Estudios previos en la playa de la Virgen del Mar	- 20 -
3. Análisis de la Dinámica litoral.....	- 22 -
3.1. Introducción y metodología de análisis	- 22 -
3.1.1. Dimensionalidad de los procesos	- 22 -
3.1.2. Escala espacial y temporal de los procesos	- 23 -
3.2. Análisis en perfil	- 24 -
3.3. Análisis en planta	- 30 -
3.4. Afección por cambio climático	- 32 -
4. Conclusiones	- 35 -
 Anejo I. Análisis granulométrico	
1. Introducción.....	AI.1
 Anejo II. ORTOFOTOS E IMÁGENES SATELITALES	
1. Introducción.....	AII.1
2. Imágenes	AII.1



1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La empresa **AECOM** participa en la instalación del cable submarino "Sol" de Google, que establecerá una ruta directa, atravesando las islas Azores y Bermudas, entre Palm Coast (Florida) y Cantabria (España), con aterrizaje en la playa de la Virgen del Mar (Figura 1).



Figura 1. Trazado del cable "Sol" en su tramo de aproximación a la costa española.

El cable "Sol" se enterrará en la arena de la playa de la Virgen del Mar para su aterrizaje en la costa española (Figura 2), por ello la empresa AECOM solicitó los servicios de la Fundación - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (**IHCantabria**) para estudiar la afección del enterramiento del cable a la dinámica litoral y los efectos del cambio climático en la playa.





Figura 2. Trazado del cable "Sol" en su aterrizaje en la playa de la Virgen del Mar (Cantabria).

Se prevé que el cable submarino "Sol" utilice la arqueta e instalaciones existentes en la rampa de acceso a la playa (Figura 3), desde la cual se enterrará, siempre que sea viable, en la arena de la playa:

- Por medios mecánicos terrestres (retroexcavadora) por encima de la cota de la bajamar, pudiendo alcanzarse 1 m de profundidad de la zanja de enterramiento.
- Por excavación manual realizada por buzos mediante lanzas de agua ("jetting") en la playa sumergida por debajo de la bajamar hasta los 10 m de profundidad, alcanzando una profundidad de entre 0.5 m y 1 m de enterramiento.
- Mediante arado submarino siempre que sea técnicamente viable y a profundidades mayores de 10 m, también alcanzando hasta 1 m de profundidad de enterramiento



(dependiendo de las características del fondo marino y del tipo de sedimento).

- En aguas muy profundas (>1000 m), el cable se deposita sobre la superficie del fondo marino.

Las profundidades de enterramiento anteriormente indicadas están sujetas a posibles cambios según las características del terreno.



Figura 3. Rampa de acceso a la playa de la Virgen del Mar y arqueta para el aterrizaje del cable.

El cable de fibra óptica contará con armaduras de distinto tipo y medias cañas a modo de protección adicional tanto en la playa como en las áreas de aguas poco profundas, especialmente en áreas con hábitats rocosos y/o alta actividad en la zona de oleaje. Las medias cañas son piezas de hierro fundido atornilladas entre sí formando una estructura cilíndrica de 11.05 cm de diámetro (Figura 4).

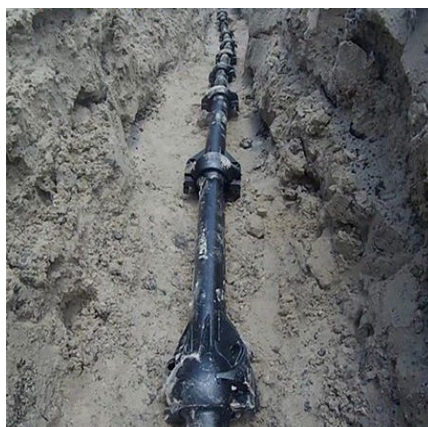


Figura 4. Ejemplo de instalación de medias cañas.



El presente documento constituye el estudio de la dinámica litoral para establecer cuáles son los posibles impactos de las obras de instalación del cable (incluidas protecciones) en el entorno. En el estudio se evalúa tanto el efecto de la instalación del cable en la dinámica litoral como el impacto del cambio climático sobre la dinámica de la playa y por consiguiente sobre el cable enterrado.

La playa de la Virgen del Mar está constituida principalmente por arenas finas y medias y se sumerge periódicamente durante las pleamares formando parte de un sistema que conforma un tómbolo que une la isla de la Virgen del Mar a la costa durante las bajamares. Junto a la rampa de acceso a la playa se sitúa el estribo de un puente de 25 m de luz que permite el acceso a la isla durante la pleamar (Figura 5).

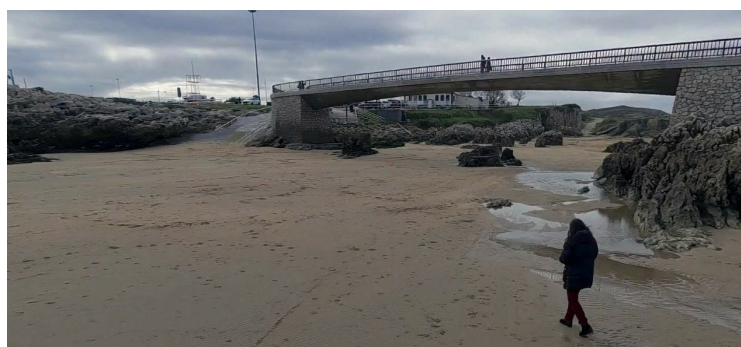


Figura 5. Rampa de bajada a la playa y puente de acceso a la isla de la Virgen del Mar.

La playa se inunda tanto desde el oeste como desde el noreste cuando sube la marea (Figura 6). Sin embargo, el extremo oeste del tómbolo se encuentra rigidizado por una acumulación de gravas y bolos de forma que la arena de la playa queda confinada en este lado. La playa de la Virgen del Mar se orienta por tanto hacia el noreste, en el otro extremo del tómbolo. Cuenta con una longitud aproximada de 400 m, se encuentra totalmente encajada entre acantilados bajos, y trasdosada por un paseo y un aparcamiento.

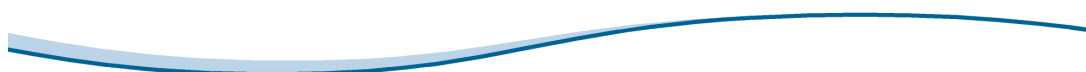




Figura 6. Inundación de la playa desde los extremos Oeste y Noreste del tómbolo que une la isla de la Virgen del Mar a la costa.

Cabe destacar que existen dos cables más con aterrizaje en la playa de la Virgen del Mar:

- El cable de fibra óptica “Anjana” de META instalado en octubre de 2024, que cruza el Atlántico hasta Myrtle Beach (Carolina del Sur).
- Un cable de Telefónica más antiguo, “Rioja-1”, fuera de servicio en la actualidad y que conectaba España con Reino Unido.

Dadas las características de la playa donde se instalará el cable, el estudio se han limitado a un dictamen razonado con base en **criterio experto**, empleando formulaciones empíricas sencillas a partir de la información descrita en el capítulo 2 de este documento, que contiene información topo-batimétrica y sobre la geofísica y naturaleza del fondo marino aportada por AECOM, información del clima marítimo y sus proyecciones de cambio climático obtenidas de las bases de datos de IHData (<https://ihcantabria.com/software-y-servicios-tic/ihdata/>), información obtenida del estudio previo realizado por Tecnoambiente en el marco del enterramiento del cable “Anjana” en la misma playa, información granulométrica del sedimento de la playa (Anejo I) y de imágenes satelitales de la zona (Anejo II).

Con el alcance anteriormente descrito, este dictamen aborda el contenido requerido para el estudio básico de dinámica litoral descrito en los Artículos 91 y 93 del Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas, así como la evaluación de los efectos sobre el cambio climático, tal como indica el artículo 92 del RD 876/2014, incluyendo los siguientes aspectos:



-
- a) Estudio de la capacidad de transporte litoral.
 - b) Balance sedimentario y evolución de la línea de costa, tanto anterior como previsible.
 - c) Clima marítimo, incluyendo estadísticas de oleaje y temporales direccionales y escalares.
 - d) Dinámicas resultantes de los efectos del cambio climático.
 - e) Batimetría hasta zonas del fondo que no resulten modificadas, y forma de equilibrio, en planta y perfil, del tramo de costas afectado.
 - f) Naturaleza geológica de los fondos.
 - g) Evaluación de los efectos del cambio climático incluirá la consideración de la subida del nivel medio del mar, la modificación de las direcciones de oleaje, los incrementos de altura de ola, la modificación de la duración de temporales y en general todas aquellas modificaciones de las dinámicas costeras actuantes en la zona.

Para ello, en el capítulo 3 del presente documento se describen las hipótesis (ortogonalidad y segregación por escalas), así como los métodos empleados y los resultados obtenidos para el estudio en perfil y planta de los procesos hidro-morfodinámicos litorales de corto, medio, largo plazo y de los efectos del cambio climático en el muy largo plazo.

El presente dictamen ha sido elaborado por los siguientes miembros de IHCantabria:

- Jara Martínez Sánchez, Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos
- Omar Quetzalcoatl Gutiérrez Gutiérrez, Dr. Oceanografía Física



2. INFORMACIÓN DE PARTIDA

Los datos de partida empleado en este dictamen incluyen información topo-batimétrica y sobre la geofísica y naturaleza del fondo marino aportada por AECOM, información del clima marítimo y sus proyecciones de cambio climático obtenidas de las bases de datos de IHDData (<https://ihcantabria.com/software-y-servicios-tic/ihdata/>) y de la red de medida **PORTUS (Puertos del Estado)**, información obtenida del estudio previo realizado por Tecnoambiente en el marco del enterramiento del cable "Anjana" en la misma playa, información granulométrica del sedimento de la playa obtenida de una campaña de campo realizada por IHCantabria (Anejo I) y de imágenes satelitales de la zona (Anejo II).

2.1. Oleaje

Para la obtención de los regímenes de oleaje a pie de playa, se ha utilizado la base de datos de reanálisis GOW (Global Ocean Waves) y DOW (Downscaled Ocean Waves, Camus et al., 2013), ambas generadas por IHCantabria.

La base de datos GOW se presenta como un conjunto de reconstrucciones históricas de oleaje generadas con el modelo numérico WaveWatch III (WWIII, Tolman, 1991). WWIII es un modelo espectral de tercera generación desarrollado por NOAA/NCEP. La hipótesis fundamental asumida en la resolución de la ecuación de balance de densidad espectral es que las propiedades del medio, así como las del campo de oleaje, varían en el espacio y en el tiempo en escalas mucho mayores que una longitud de onda. Una limitación del modelo, por tanto, es que no es capaz de simular los efectos de propagación del oleaje en mallas de muy alta resolución.

Los forzamientos utilizados proceden del reanálisis global CFSR y de su continuación CFSv2. Cuenta con una malla global de mayor resolución de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, anidada a esta tiene otra malla global de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ que solo cubre las zonas cercanas a la costa. Cabe resaltar que al ser una base de datos global la resolución espacial es insuficiente para reproducir los procesos que se producen en profundidades reducidas.

Los productos GOW han sido validados con medidas instrumentales in-situ procedentes de boyas y medidas remotas procedentes de satélite. Los registros in-situ proceden de redes de boyas de diferentes organismos, como por ejemplo Puertos del Estado.

GOW proporciona información de altura de ola significativa (H_s), periodo de pico (T_p), dirección media (Dir), en un punto situado a 2.5 Km hacia el norte de la playa de la Virgen del Mar en profundidades indefinidas (Figura 7). Los datos tienen periodicidad horaria y son homogéneos y continuos desde enero de 1979 hasta marzo de 2025.





Figura 7. Localización del punto de la base de datos de oleaje GOW, junto al trazado del cable “Sol” en su aproximación a la playa de la Virgen del Mar.

Tanto los oleajes reinantes como los dominantes provienen fundamentalmente del NW y N-NW (Figura 8), con dirección de flujo medio de energía N40°W.

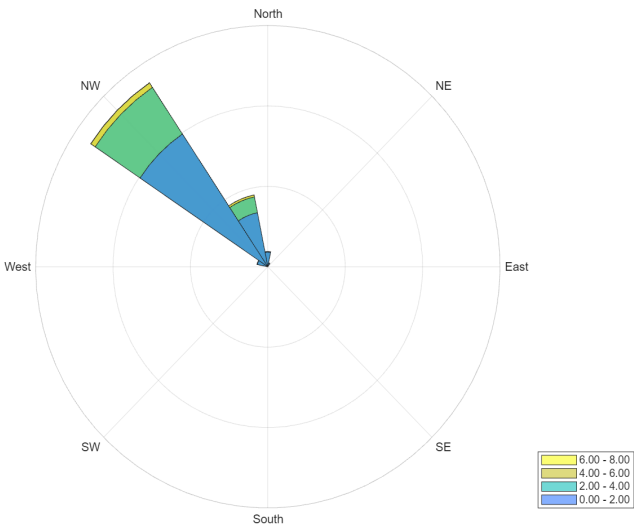


Figura 8. Rosa direccional de altura de ola significativa (m) de la base de datos de oleaje GOW frente a la playa de la Virgen del Mar.



Respecto a los oleajes extremos, la altura de ola significativa local que es excedida 12 horas al año es de 5.7 m y su periodo asociado es de 14 m, superando los oleajes más energéticos los 6 m de altura significativa de ola.

El oleaje promedio en invierno presenta una altura de ola significativa de 2 m y periodo de pico de 12 s, mientras que en verano la altura de ola significativa se reduce a 1.2 m y su correspondiente periodo de pico es de 10 s.

Para estimar los efectos del cambio climático en la altura de ola y la dirección del oleaje se han empleado los resultados del visor de Cambio Climático en la Costa Española C3E (<https://c3e.ihcantabria.com/>), que recoge la información en 1196 puntos del litoral español. Se han obtenido información en un punto situado a 3 Km al noroeste de la playa de la Virgen del mar (Figura 9) de las siguientes variables de la base de datos de oleaje de reanálisis DOW (Camus et al., 2013): altura de ola significativa del 99% de superación ($H_{s99\%}$) y dirección media del oleaje (Dir).



Figura 9. Localización del punto de la base de datos de oleaje DOW, junto al trazado del cable “Sol” en su aproximación a la playa de la Virgen del Mar.



Para dos escenarios climáticos medio y pesimista (RCP4.5 y RCP 8.5 del AR5¹, respectivamente), se ha extraído el cambio respecto al periodo de referencia 1985-2005 en los periodos a corto (2026-2045) y largo plazo (2081-2100) por separado (Tabla 1). Se observa que los cambios en la altura ($\Delta H_{s99\%}$) y dirección del oleaje (ΔDir) son no significativos en todos los casos (a la vista de los resultados del intervalo de confianza, IC, de las variables), excepto para la variable $H_{s99\%}$ en el escenario pesimista y en largo plazo, en el que la altura de ola se reduce en 0.2 m.

Tabla 1. Variación respecto al periodo de referencia (1985-2005).

Periodo	Escenario	$\Delta H_{s99\%}$ (m)	IC _{5%}	IC _{95%}	ΔDir (°)	IC _{5%}	IC _{95%}
2026-2045	RCP4.5	0.001	-0.124	0.128	0.365	-0.331	1.063
	RCP8.5	0.0004	-0.096	0.097	0.336	-0.350	1.023
2081-2100	RCP4.5	-0.066	-0.229	0.096	0.112	-0.595	0.818
	RCP8.5	-0.205	-0.337	-0.073	-0.119	-0.877	0.638

Por lo tanto, se puede concluir que los efectos del cambio climático sobre el oleaje incidente en la playa de la Virgen del Mar son despreciables.

2.2. Nivel del mar

Se entiende por nivel del mar la posición media de la superficie libre del mar una vez filtradas las oscilaciones asociadas al oleaje de viento y grupos de ondas, de forma que las oscilaciones resultantes son causadas por movimientos de largo periodo asociados a la meteorología y a los movimientos astronómicos:

- La oscilación del nivel medio del mar asociada a la evolución de los sistemas meteorológicos tiene carácter aleatorio y se denomina Marea Meteorológica.
- La oscilación del nivel asociada a los movimientos astronómicos tiene carácter determinista y se le denomina Marea Astronómica.

La combinación de las estadísticas de ambas mareas es lo que se denomina régimen del nivel del mar (Figura 10).

¹ IPCC 2013.



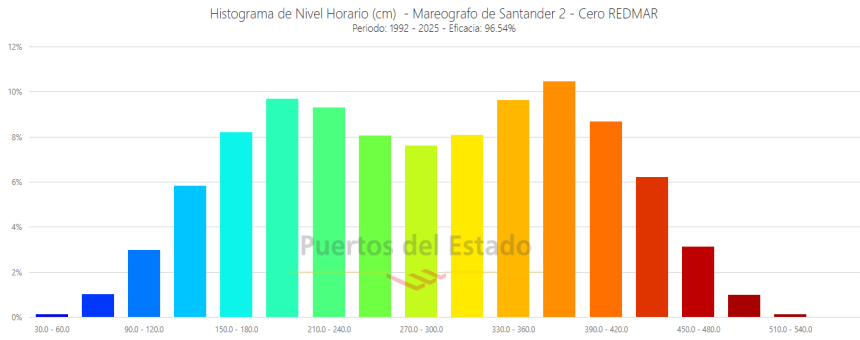


Figura 10. Histograma del régimen del nivel del mar horario en el mareógrafo de Santander 2 (Puertos del Estado).

Para valorar el régimen del nivel del mar en la playa de la Virgen del Mar, se han utilizado los registros del mareógrafo Santander 2 de Puertos del Estado situado a unos 12 Km de la playa de la Virgen del Mar (Figura 11).



Figura 11. Localización del mareógrafo Santander 2, próximo al trazado del cable “Sol” en su aproximación a la playa de la Virgen del Mar.

La carrera de marea mínima y máxima en la zona es de 0.87 y 4.92 m (Figura 12).



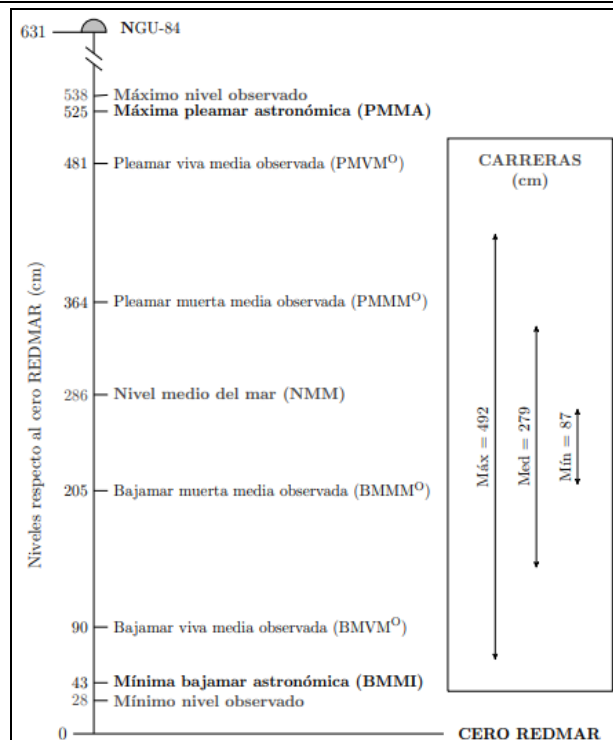


Figura 12. Principales referencias de nivel del mar del mareógrafo Santander 2.

Al margen de la marea astronómica y meteorológica, que tienen efectos sobre el nivel del mar en el corto plazo, hay dos factores principales que causan la subida del nivel del mar en el largo plazo como consecuencia del calentamiento global: 1) la expansión térmica del agua del mar y 2) el deshielo. A medida que el agua se va calentando se produce un aumento de su volumen que da lugar a un aumento en el nivel y, por otro lado, el aumento de la temperatura contribuye al deshielo de glaciares y otras reservas de agua continentales y de las principales placas de hielo de la Antártida y Groenlandia (Meehl et al. 2007). Hoy en día se sabe que la expansión térmica de los océanos es responsable de alrededor de un tercio de la subida del nivel del mar global producido en el siglo XX hasta 1990. Desde entonces, el deshielo procedente de glaciares, y capas de hielo continentales y polares ha sido mucho más importante.

Para la consideración del ascenso del nivel medio del mar en el largo plazo por acción del cambio climático, se han extraído las proyecciones del sexto informe, AR6, del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2023) para los escenarios medio (trayectoria socioeconómica compartida SSP2-4.5, Figura 13) y pesimista (SSP5-8.5, Figura 14) referido al año de referencia 2025 y regionalizado para la zona de estudio.



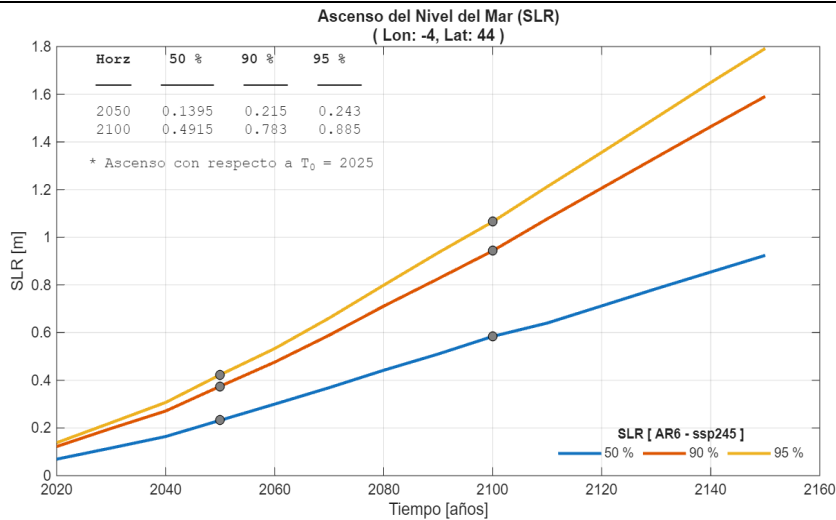


Figura 13. Percentiles del 50%, 90% y 95% del ascenso del nivel medio del mar (SLR) en la playa de la Virgen del Mar (longitud 4°W, latitud 44°N) según el escenario medio del AR6 (SSP2-4.5), respecto al año 2025 y para diversos años horizonte (Horz).

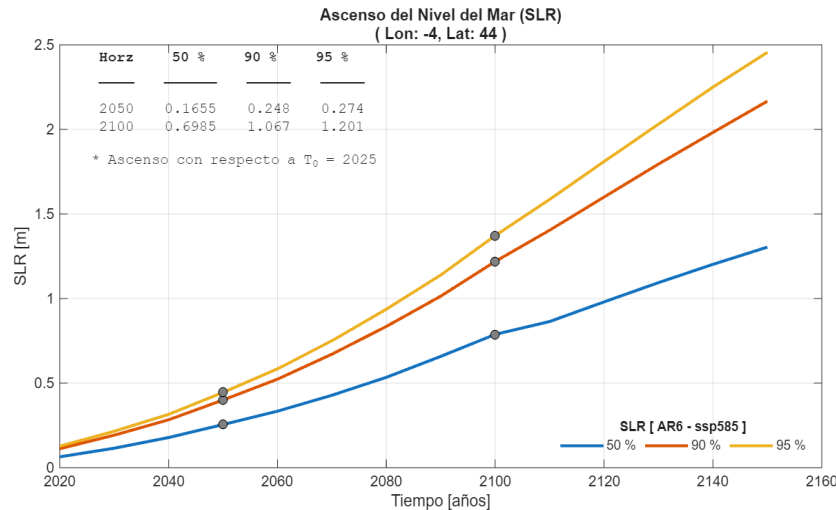


Figura 14. Percentiles del 50%, 90% y 95% del ascenso del nivel medio del mar (SLR) en la playa de la Virgen del Mar (longitud 4°W, latitud 44°N) según el escenario más pesimista del AR6 (SSP5-8.5), respecto al año 2025 y para diversos años horizonte (Horz).

A la vista de los resultados mostrados en los anteriores gráficos, se estima un ascenso del nivel medio del mar de hasta 1.201 m entre el año 2025 y hasta el año 2100, según el escenario más pesimista, y de 0.885 m según el escenario medio.



2.3. Topobatimetría

AECOM ha facilitado los resultados de levantamientos topográfico y batimétrico llevados a cabo en la zona en marzo de 2025.

El levantamiento topográfico se realizó entre el 28 y 29 de marzo de 2025 en la playa de la Virgen del Mar, incluyendo la zona intermareal hasta la bajamar y los acantilados colindantes (Figura 15).

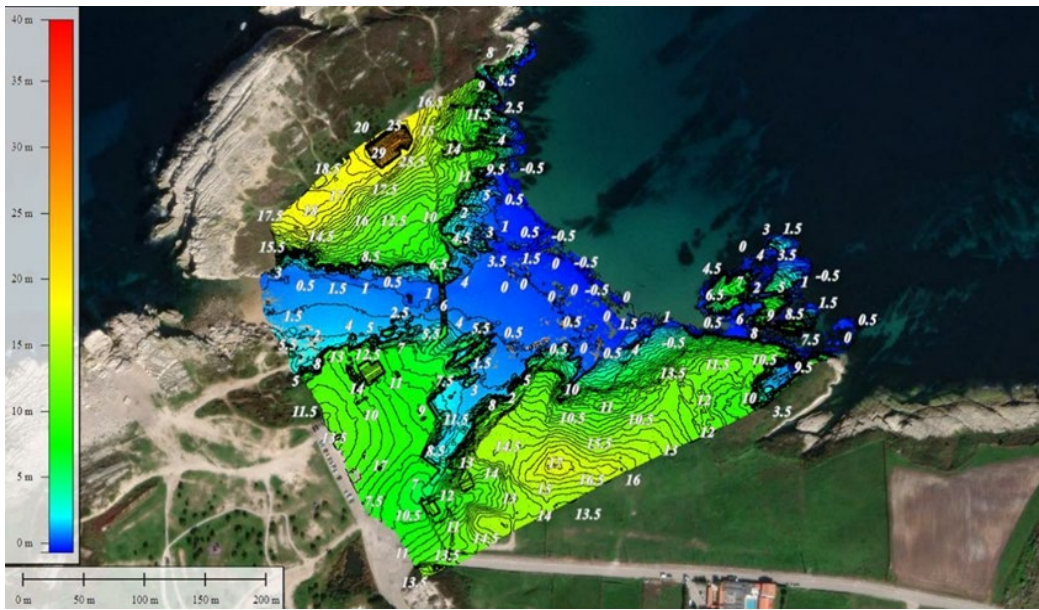


Figura 15. Levantamiento topográfico de la playa de la Virgen del Mar. Fuente: informe “Land, diver and inshore survey” (Subcom, 2025).

El levantamiento batimétrico se realizó a lo largo de un corredor de 300 m de ancho en torno al trazado del cable “Sol” y hasta los 20 m de profundidad (Figura 16), aunque se alcanzaron profundidades mayores hasta los 22 m aproximadamente. Se llevó a cabo entre el 17 y 20 de marzo de 2025 mediante una embarcación equipada con ecosonda multihaz.



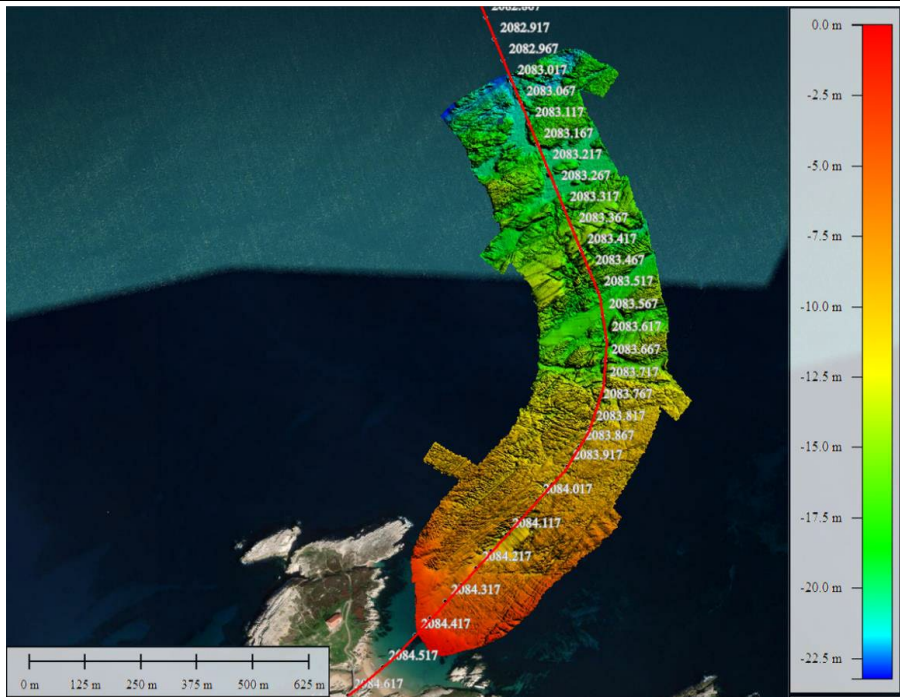


Figura 16. Levantamiento batimétrico del corredor en torno al trazado del cable "Sol" en su aterrizaje en la playa de la Virgen del Mar. Fuente: informe "Land, diver and inshore survey" (Subcom, 2025).

La información relevante para el estudio de la dinámica litoral corresponde al primer tramo de este corredor en su alineación Suroeste-Noreste desde la playa y hasta los 12.5 m de profundidad aproximadamente.

Ambos levantamientos se complementan con una campaña de medición de profundidades realizada por buzos en aguas someras mediante inmersión los días 28 de marzo, 8 y 9 de abril de 2025.

A partir de la topobatimetría completa, consolidando las 3 fuentes de información, se ha extraído un perfil de playa siguiendo el trazado del cable "Sol" desde la rampa de acceso a la playa y siguiendo una dirección noreste (Figura 17).



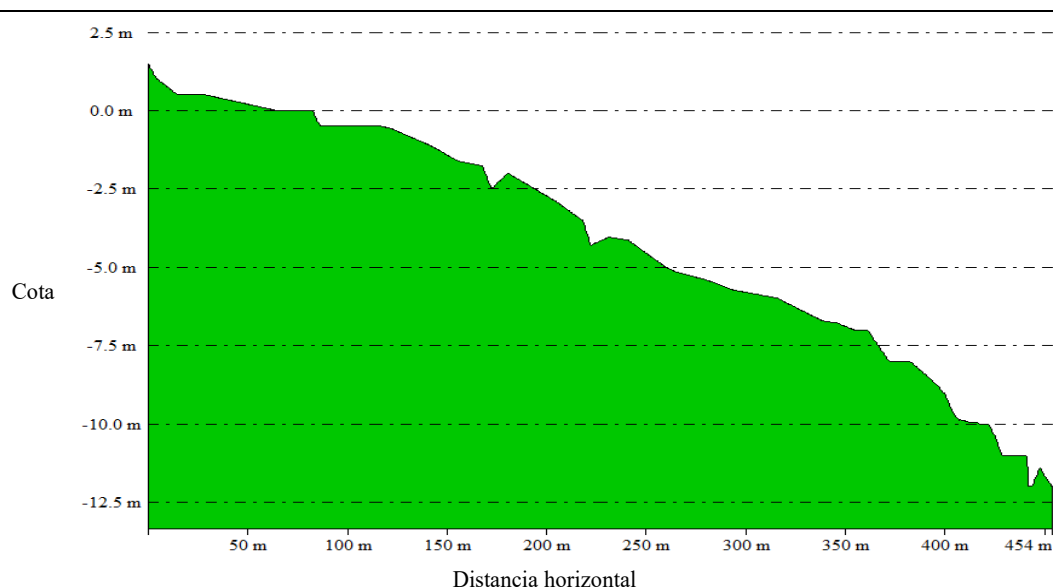


Figura 17. Perfil de playa a lo largo del trazado del cable "Sol", desde el pie de la rampa de acceso a la playa de la Virgen del Mar.

2.4. Geofísica

Los levantamientos topo-batimétricos facilitados por AECOM, se acompañan de estudios caracterización de los fondos marinos y de la capa de espesor del sedimento granular en la playa.

Por encima de la bajamar se observa sedimento granular en toda la extensión de la playa (Figura 18). Sin embargo, en la playa sumergida se observan algunos afloramientos rocosos en la zona de aguas más someras (Figura 19) y un fondo predominantemente rocoso con solo algunos parches arenosos en aguas más profundas (Figura 20).



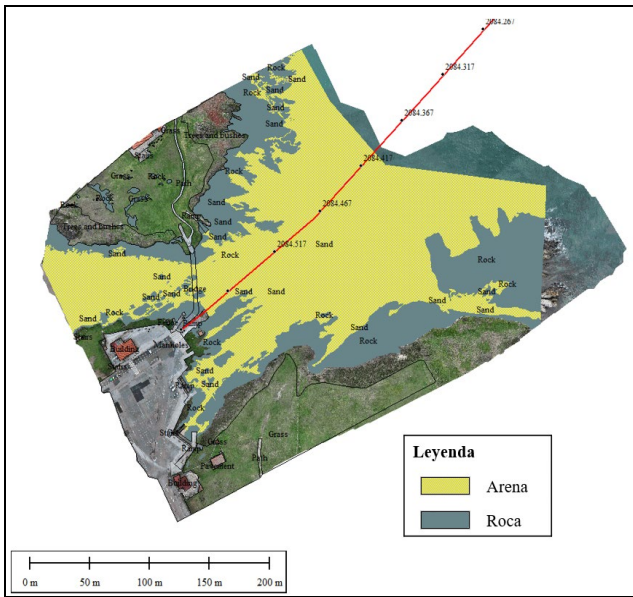


Figura 18. Clasificación del tipo sedimentos encontrados en el levantamiento topográfico de la playa de la Virgen del Mar por encima de la cota de la bajamar. Fuente: modificado del informe "Land, diver and inshore survey" (Subcom, 2025).

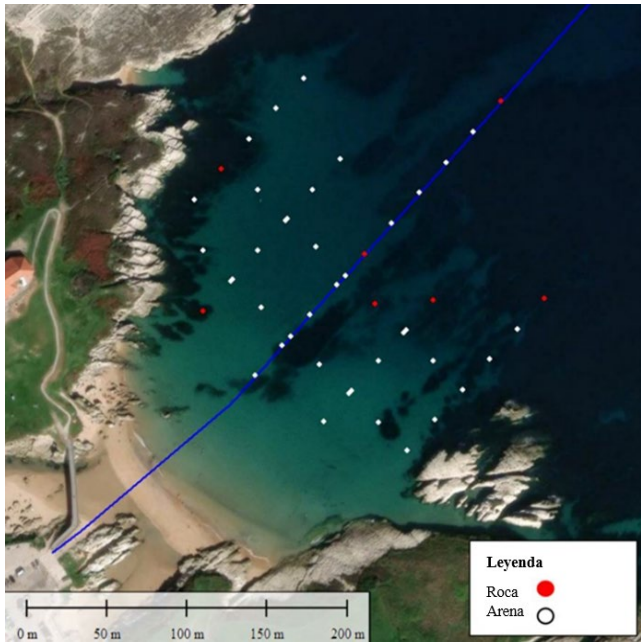


Figura 19. Clasificación del sedimento del lecho mediante la inmersión de buzos en aguas someras de la playa sumergida. Fuente: modificado del informe "Land, diver and inshore survey" (Subcom, 2025).



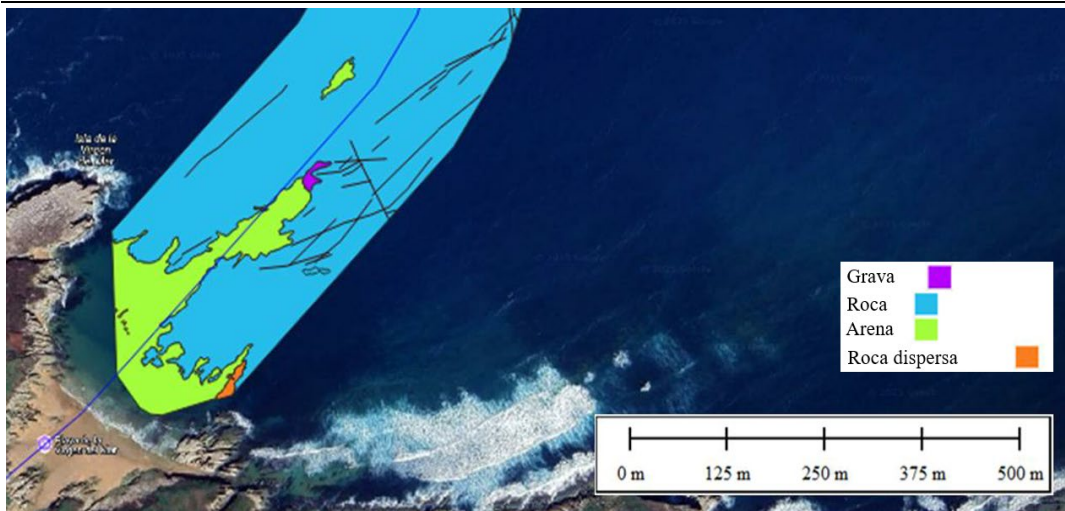


Figura 20. Clasificación del tipo de sedimento en el lecho marino en la playa sumergida y en aguas más profundas, mediante interpretación de ecosonda multihaz, sonar de barrido lateral y muestras de sedimentos. Fuente: modificado del informe "Land, diver and inshore survey" (Subcom, 2025).

Respecto al espesor de la capa de arenas a lo largo de la alineación del cable "Sol" mediante perfilador de subfondo (Figura 21), se obtiene un espesor de menos de un metro hasta los 9 m de profundidad y un espesor máximo de 4.2 m entre los 9 y 12 m de profundidad. En el resto de la alineación Suroeste-Noreste del trazado del cable se encuentra fondo rocoso.

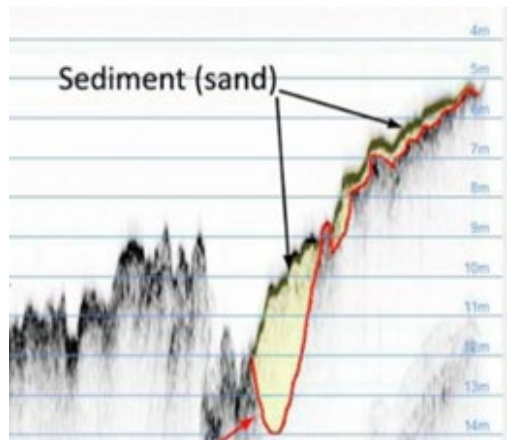


Figura 21. Resultados del perfilador de subfondo a lo largo del trazado del cable "Sol" Clasificación del tipo de sedimento en el lecho marino en la playa sumergida. Fuente: modificado del informe "Land, diver and inshore survey" (Subcom, 2025).

2.5. Sedimento granular de la playa

Para la caracterización de sedimentos en la zona de estudio IHCantabria realizó una



campaña de campo para tomar muestras en la playa de la Virgen del Mar el 19 de junio de 2025 (Figura 22).



Figura 22. Toma de muestras de sedimento de la playa.

La campaña se realizó durante la segunda bajamar del día, que tuvo lugar a las 17:35 con un coeficiente de marea de 64, para una bajamar de -1.1 m respecto al nivel medio del mar.

En esta campaña se tomaron 4 muestras de sedimento en la zona central de la playa, en torno a la futura ubicación del cable y por encima de la cota de bajamar. Posteriormente, las muestras recogidas se analizaron en el laboratorio IHLab BIO para caracterizar la granulometría de los sedimentos.

Los resultados de los análisis granulométricos se recogen en el Anejo I al presente documento, presentando arenas finas y medias con D_{50} que varía entre 0.244 mm en la muestra tomada en la línea de pleamar y 0.324 mm en la muestra tomada en la bajamar.

2.6. Ortofotos e imágenes satelitales

En el caso de playa de Virgen del Mar, se dispone de tres fuentes de datos con imágenes satelitales u ortofotos:

- Imágenes de satélite de Google Earth.
- Ortofotos del Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Ortofotos del Gobierno de Cantabria.

Este tipo de imágenes permiten el estudio cualitativo de la evolución morfológica de la playa. El problema principal que presentan estas imágenes para permitir la medición de la línea de costa y su estudio cuantitativo es que no se dispone de la información relativa al instante en el que se capturó la imagen. Por tanto, no es posible estimar el nivel de marea o la cota de inundación correspondiente a la imagen, lo cual impide distinguir qué parte del avance y retroceso de la línea de costa corresponde a la inundación por el oleaje y las mareas y qué parte corresponde a cambios morfológicos en el perfil de playa.

En la Tabla 2 se presenta el resumen de las imágenes seleccionadas para el desarrollo del presente estudio, indicando la fecha de captura (mes y/o año). Todas las imágenes



empleadas en el estudio se muestran en el Anejo II al presente documento.

Tabla 2. Ortofotos e imágenes satelitales disponibles

FUENTE	FECHA DE CAPTURA
Google Earth	Febrero 2025
Gobierno de Cantabria	2024
Google Earth	Marzo 2024
Gobierno de Cantabria	2023
Google Earth	Abril 2023
Google Earth	Marzo 2022
Google Earth	Octubre 2020
Google Earth	Julio 2020
Google Earth	Junio 2020
IGN	2020
Gobierno de Cantabria	2018
IGN	2017
Google Earth	2014
Gobierno de Cantabria	2014
Google Earth	Marzo 2011
IGN	2010
Google Earth	Mayo 2010
Google Earth	Abril 2010
Google Earth	Agosto 2007
IGN	2007
Google Earth	Julio 2006
IGN	2005
Gobierno de Cantabria	2002
Google Earth	Diciembre 2002
Gobierno de Cantabria	2001
Gobierno de Cantabria	1989-1990
Gobierno de Cantabria	1977-1986
IGN	1956-1957

Se han utilizado un total de 28 imágenes: 14 de Google Earth, 6 del IGN y 8 del Gobierno de Cantabria.

2.7. Estudios previos en la playa de la Virgen del Mar

Se cuenta con la información del estudio básico de dinámica litoral y del estudio de efectos del cambio climático para el proyecto del cable submarino de fibra óptica “Anjana” con aterrizaje en la playa de la Virgen del mar, T.M. Santander, elaborados en septiembre de 2022 por Tecnoambiente SL para Pioneer Consulting y NEC Corporation. Cabe señalar que se desarrollaron las operaciones de aterrizaje del cable “Anjana” en la playa de la Virgen del Mar en octubre de 2024 y dicho cable se encuentra enterrado en la playa desde entonces con un trazado muy semejante en su aterrizaje al propuesto para el cable “Sol”.

Estos estudios, a los que se tuvo acceso puesto que fueron sometidos a información pública,



se fundamentan en un levantamiento batimétrico y estudio geomorfológico realizado en diciembre de 2021 – enero de 2022 hasta los 30 m de profundidad, la serie temporal de oleaje de reanálisis SIMAR (Puertos del Estado) en un punto situado en aguas profundas frente a la playa, los resultados del del visor de Cambio Climático en la Costa Española, C3E (<https://c3e.ihcantabria.com/>, con resultados correspondientes a los escenarios climáticos del IPCC en su informe AR5).

Las conclusiones de los mencionados estudios indican que la zona presenta un oleaje energético, con alto porcentaje de temporales con olas de entre 3 y 5 m el 19% del tiempo, y olas de más de 5 m el 3.8% del tiempo.

En cuanto al sedimento, está compuesto de arenas medias, aunque la arena es escasa situándose en la zona más somera y en los huecos en las irregularidades del fondo rocoso. Por debajo de los 4 m, el fondo es eminentemente rocoso, con pequeños parches de arena, que rellenan los huecos e irregularidades en la roca. La profundidad de cierre del perfil la playa está sobre los 10.5 m, pero teniendo en cuenta que por debajo de los 4 m el fondo está constituido por roca, el perfil de playa sólo sufrirá variaciones en la zona más somera, a menos de 4 m de profundidad. Por tanto, no hay riesgo de descalce del cable a profundidades mayores de 4 metros, donde el cable no se podrá enterrar y se apoyará sobre fondo rocoso.

Las variaciones de perfil durante un temporal alcanzan algo más de 1m de espesor a la cota de +4 m, por lo que el cable en la playa (zona intermareal y zona sumergida permanentemente) deberá ir enterrado por lo menos a 1 m de profundidad.

En lo referente a los efectos del cambio climático, se estudiaron el ascenso del nivel medio del mar y la variación en la altura de ola significativa. Según las proyecciones consideradas (AR5), el ascenso del nivel medio del mar para el periodo 2026-2045 bajo el escenario más pesimista (RCP 8.5) y referido al valor medio entre 1985 y 2005 es de 14 cm. En el caso de la altura de ola, la variación no es estadísticamente significativa. A la vista de estos resultados, el estudio concluye que el proyecto no vería comprometida su integridad aun considerando los efectos del cambio climático y los efectos del proyecto sobre el cambio climático se pueden considerar despreciables igualmente por las características del mismo (cable de sección reducida enterrado en la playa seca y en la zona intermareal y apoyado sobre el fondo marino en la playa sumergida).



3. ANÁLISIS DE LA DINÁMICA LITORAL

3.1. Introducción y metodología de análisis

En el presente capítulo se analiza la estabilidad y evolución de la playa de la Virgen del Mar con el objetivo de determinar la afección de la dinámica litoral al cable "Sol".

Recíprocamente, la afección del cable "Sol" a la dinámica de la playa puede considerarse despreciable puesto que se encontrará enterrado en la arena de playa, y aún en el caso de quedar desenterrado ocasionalmente, la reducida sección que presenta (estructura cilíndrica de 11.05 cm de diámetro incluyendo las protecciones y 3.59 cm sin ellas) en ningún caso puede suponer una interrupción al transporte litoral o modificar la morfodinámica local en modo alguno.

Así pues, el presente capítulo analiza la dinámica litoral del perfil de la playa, para posteriormente estudiar la planta y finalmente centrarse en la afección del cambio climático a la playa y por extensión al cable.

Previamente al desarrollo de dicho análisis se plantea, en este mismo apartado, la metodología general de trabajo, la cual se fundamenta en dos conceptos:

1. Dimensionalidad de los procesos: **hipótesis de ortogonalidad**.
2. Escalas de los procesos: **segregación del análisis por escalas**.

De acuerdo con estas hipótesis simplificadoras, que se explican en mayor detalle a continuación, se justifica la separación del análisis de la estabilidad y evolución de la playa de acuerdo con sus diferentes escalas de variabilidad. Para cada una de estas escalas, solo se analizará la estabilidad y evolución de la forma en planta y perfil que resulta relevante.

3.1.1. Dimensionalidad de los procesos

Todos los procesos hidrodinámicos y sedimentarios que acontecen en una playa son, en mayor o menor medida, procesos tridimensionales. Sin embargo, las limitaciones de las herramientas, formulaciones e incluso de nuestra capacidad de entendimiento de dichos procesos no nos permite analizarlos en toda su complejidad.

De acuerdo con la hipótesis de ortogonalidad, cualquier movimiento de una playa puede ser analizado estudiando los movimientos longitudinales y transversales de la misma, los cuales se asume que son independientes entre sí. Nótese que la hipótesis de ortogonalidad permite analizar la estabilidad de una playa estudiando por separado:

- Estabilidad del perfil de playa (eje transversal: alineación del cable "Sol" en su aterrizaje en la playa de la Virgen del Mar)
- Estabilidad de la planta de la playa (eje longitudinal: línea de costa del extremo



Noreste del tómbolo en la playa de la Virgen del Mar).

La hipótesis de ortogonalidad es, en general, suficientemente aproximada a la realidad, especialmente en playas abiertas con estados morfodinámicos extremos (disipativas o reflejantes). En playas con estados morfodinámicos intermedios, o en playas encajadas con una forma en planta de gran curvatura, existe, sin embargo, una notable interacción planta-perfil, por lo que el análisis por separado del perfil y la planta debe realizarse con cautela.

3.1.2. Escala espacial y temporal de los procesos

Las diferentes dinámicas que afectan a una playa se presentan en escalas espaciales que van desde los centímetros (turbulencia), hasta las decenas de kilómetros (marea) y en escalas temporales que van desde los segundos (olas) hasta las décadas (ascenso del nivel medio del mar). Como respuesta a dichas dinámicas la morfología de la playa cambia, a su vez, dentro de diversas escalas.

Estas escalas de las dinámicas y respuestas morfológicas de las playas se suelen clasificar en: Micro escala, Meso escala y Macro escala de acuerdo con la dimensión espacial y en corto plazo, medio plazo y largo plazo (Figura 23).

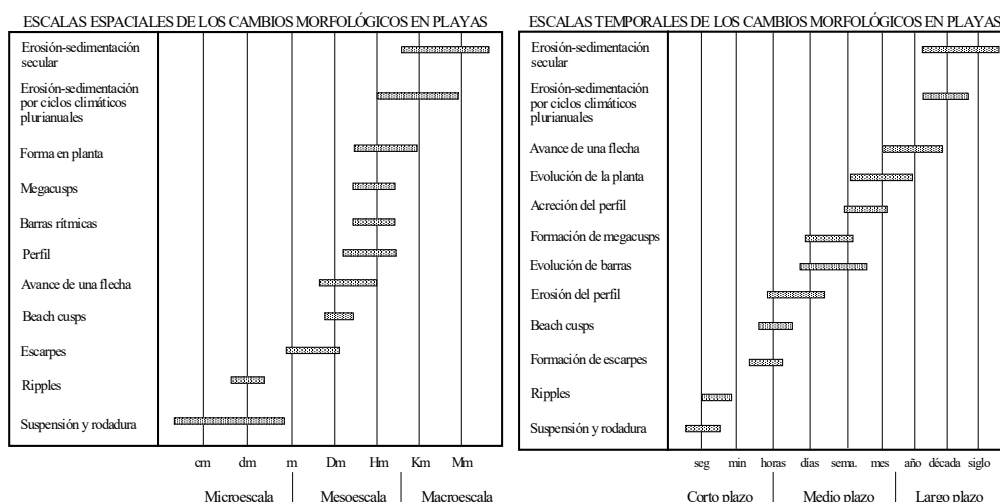


Figura 23. Escalas espaciales y temporales típicas de algunos cambios morfológicos de las playas.

En el estudio de estabilidad y evolución de una playa las escalas espaciales de interés son la Meso escala (decenas-centenas de metro) y Macro escala (km), que son las que se analizarán en el presente estudio.

En general, de cara al análisis de la estabilidad de la playa tiene especial relevancia el estudio del largo y muy largo plazo (años-decenios). Los elementos de escalas inferiores (por ejemplo, la erosión producida por un temporal) son también relevantes si sus efectos permanecen en el tiempo. En este caso, **se analizarán las siguientes escalas**



temporales:

- **Corto plazo** (efecto de los temporales)
- **Medio-corto plazo** (variabilidad estacional)
- **Largo plazo** (variabilidad interanual)
- **Muy largo plazo** (efectos del cambio climático).

3.2. Análisis en perfil

A partir de cierta profundidad, el sedimento de la playa ya no responde activamente a la acción del oleaje, definiéndose una profundidad a partir de la cual, el transporte de sedimentos tiene una magnitud despreciable. Esta profundidad se conoce como la profundidad de cierre (h^c) y puede ser estimada por la siguiente expresión propuesta por Birkemeier (1985):

$$h^c = 1,75H_{S12} - 57,9 \left(\frac{H_{S12}^2}{gT_s^2} \right) \quad [1]$$

Donde:

H_{S12} = altura de ola significativa local que es excedida 12 horas al año.
 T_s = período significativo asociado a H_{S12} .

A partir de los datos de H_{S12} (5.7 m) y T_s (14.0 s) de la serie de oleaje utilizada (GOW), se obtiene que la profundidad de cierre en playa de la Virgen del Mar es de 9 m respecto a la bajamar media, situada a 2.4 m bajo el nivel medio del mar local. A la vista de la batimetría y geofísica local (Figura 24), se observa que todo el sedimento que podría ser movilizado por los mayores temporales (hasta los 11.4 m de profundidad) se encuentra confinado entre formaciones rocosas al pie de la playa sumergida y en los laterales de esta. **Por tanto, no puede producirse ningún transporte de sedimentos hacia fuera del sistema por acción del oleaje como resultado del efecto de los temporales en el corto plazo.**



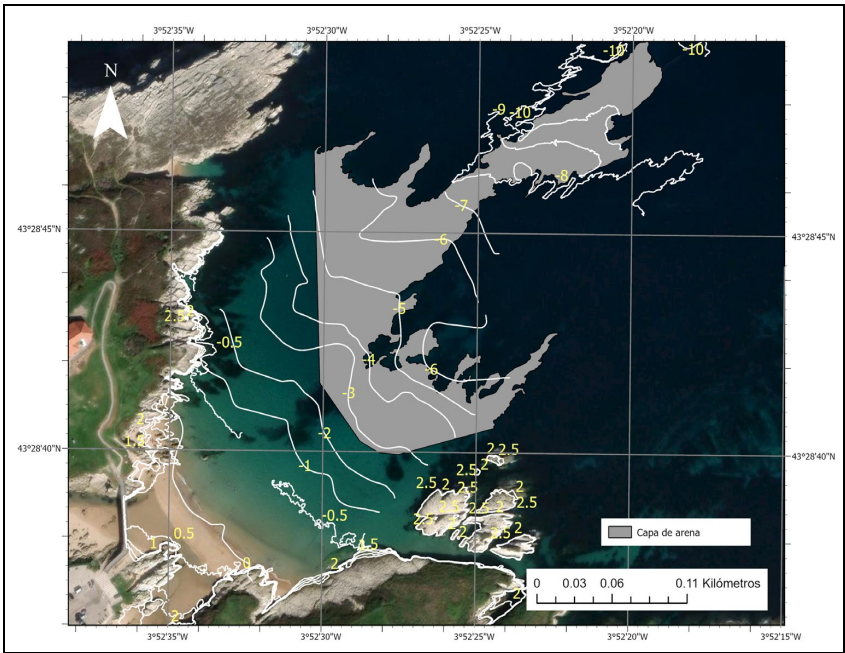


Figura 24. Topobatimetría y localización de fondos arenosos en la playa sumergida.

Una de las características más comúnmente conocidas de los perfiles de playa es su variabilidad estacional con erosión en su parte emergida y acumulación de la zona sumergida en invierno y viceversa en verano.

Para estudiar la variabilidad de la forma del perfil de la playa en lo que respecta al espesor de la capa de sedimento granular a lo largo del perfil, se emplea un modelo de perfil biparabólico de equilibrio (Figura 25).



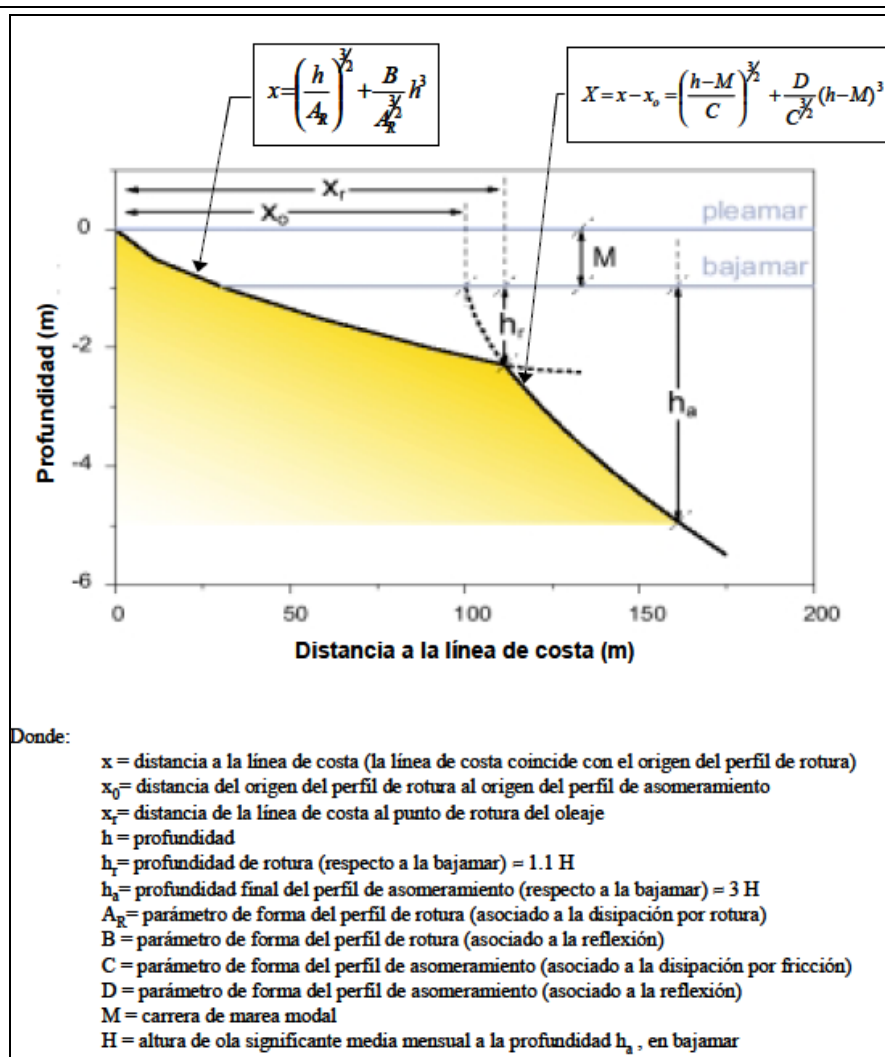


Figura 25. Esquema y formulaciones del perfil biparabólico de equilibrio (Bernabeu, 1999).

Este perfil de equilibrio compuesto puede representarse por medio de dos perfiles parabólicos, uno con origen en la cota de pleamar, denominado perfil de rotura, y otro, denominado perfil de asomeramiento, con el origen en la cota de bajamar y desplazado en vertical, de tal forma, que su intersección con el perfil de rotura coincide con la profundidad donde el oleaje rompe.

Los parámetros que controlan la forma de cada uno de los perfiles, A_r , B , C y D , se han obtenido ajustando perfiles de playas medidos a lo largo de todo el litoral Español, y se representan en función de la altura de ola, el periodo del oleaje y la velocidad de caída del grano que es función del tamaño de grano del sedimento (Figura 26).



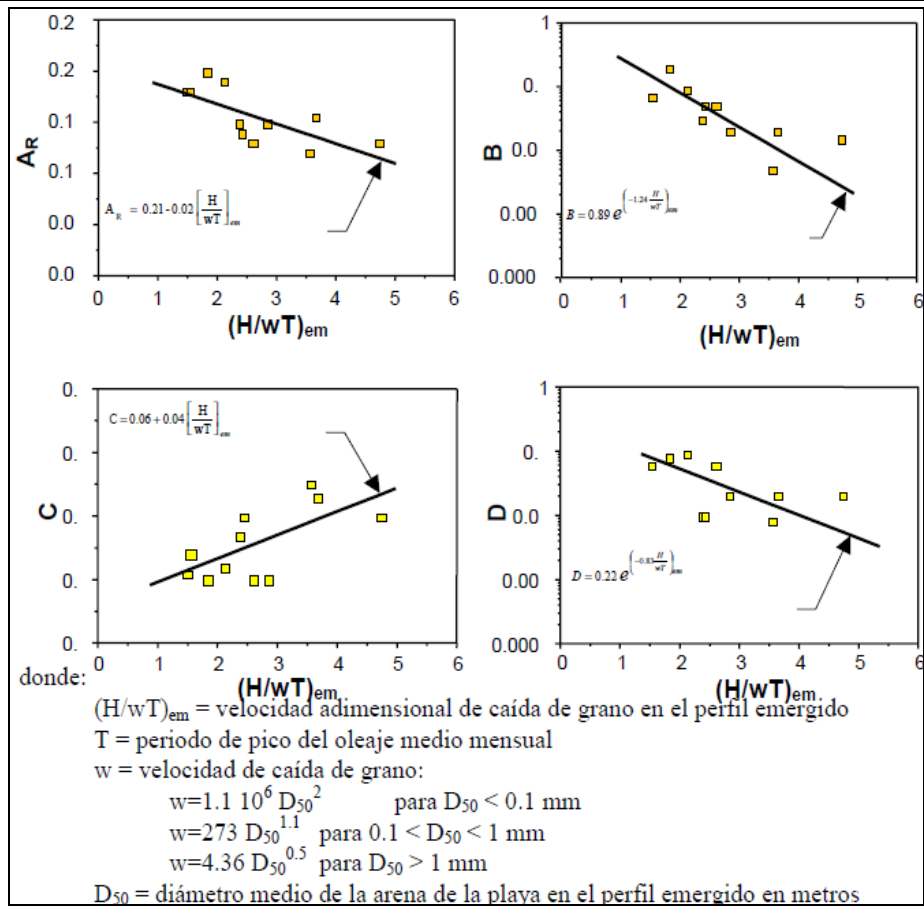


Figura 26. Ábacos para el cálculo del perfil biparabólico de equilibrio.

Utilizando la carrera de marea viva media ($M=2.8$ m), el tamaño de sedimento en torno a la bajamar ($D_{50}=0.3$ mm) y el oleaje promedio en invierno ($H_s=2$ m, $T_p=12$ s) y en verano ($H_s=1.2$ m, $T_p=10$ s), se obtienen los parámetros de ajuste de los perfiles de equilibrio de verano e invierno que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3. Parámetros de ajuste de los perfiles biparabólicos de equilibrio de invierno y verano.

Parámetro	Invierno	Verano
A_r	0.12	0.14
B	0.003	0.01
C	0.24	0.2
D	0.005	0.01

Según el modelo de equilibrio propuesto, al final del invierno el perfil de playa (correspondiente al perfil medido en marzo de 2025) presenta una acumulación de



sedimento en la playa sumergida y menor espesor de sedimento en la parte alta del perfil, como resultado de un periodo prolongado de oleajes energéticos. **Tras el periodo estival, en el que la energía del oleaje es menor, se produce una migración de sedimentos a lo largo del perfil hacia la parte alta de la playa, acumulando hasta 1.6 m de sedimentos junto al trasdós de la playa (rampa de acceso) y erosionando hasta 1 m la columna de sedimento en la zona de rompientes (en torno a los 5 m de profundidad)** según el modelo teórico ajustado (Figura 27).

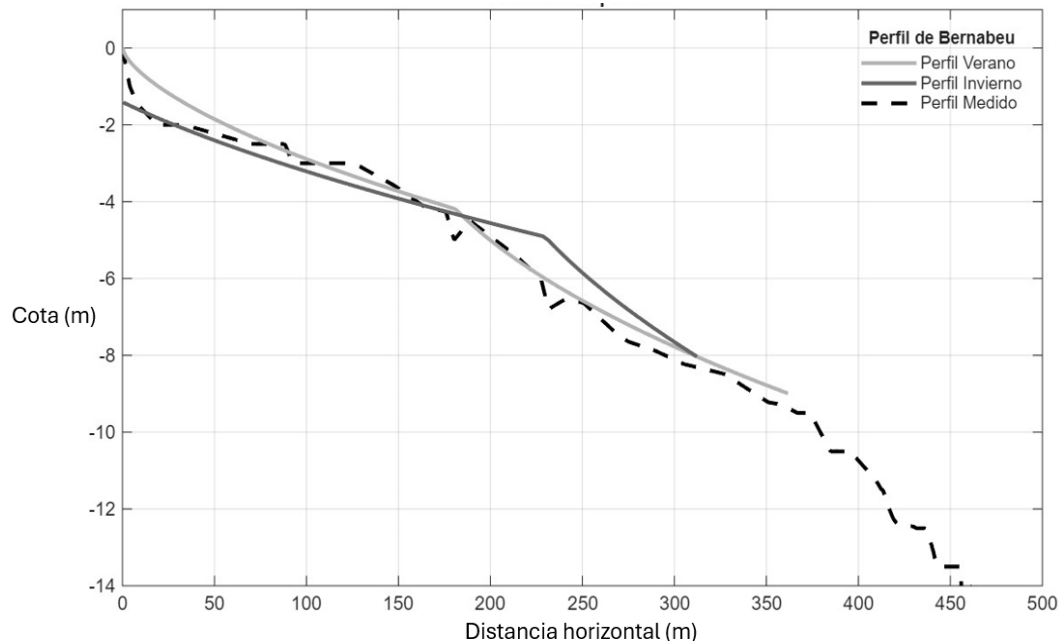


Figura 27. Ajuste del perfil de equilibrio invierno-verano en la playa de la Virgen del Mar sobre el perfil medido en marzo de 2025 (línea discontinua) a lo largo del trazado del cable "Sol".

El espesor de la capa de sedimentos en la playa sumergida es muy reducido, con valores inferiores a 1 m en la zona de rompientes (Figura 28). Por lo tanto, **es esperable que tras el verano haya más afloramientos rocosos en la playa sumergida** cuando se produzca la migración del sedimento desde la playa sumergida hacia la parte alta de la playa.



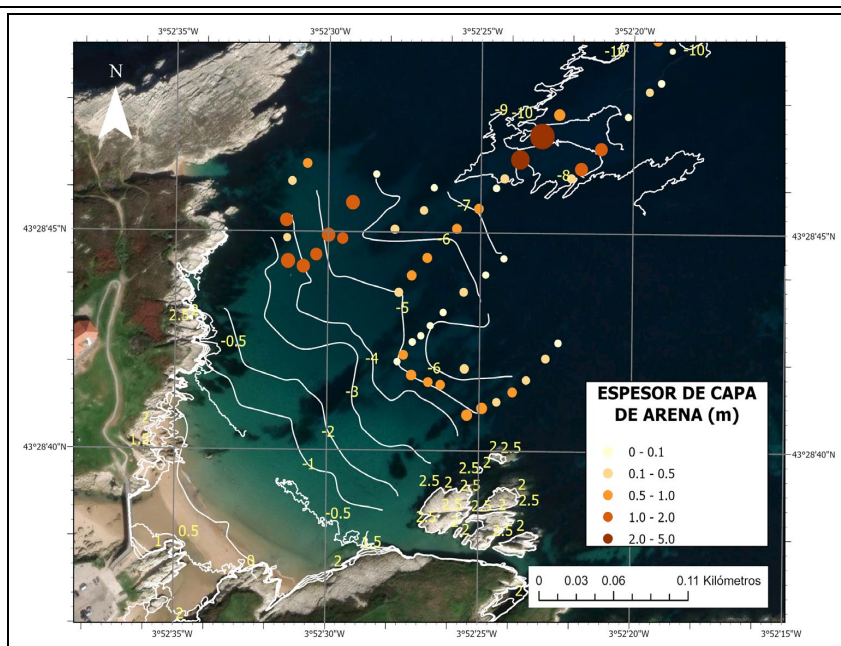


Figura 28. Espesor de la capa de arena en la playa sumergida en marzo de 2025.

En la geomorfología disponible elaborada por Tecnoambiente a partir de datos de NEC Corporation en el marco de los estudios para el aterrizaje del cable "Anjana", se confirma la presencia de estos afloramientos rocosos en la zona de rompientes (en torno a los 5 m de profundidad).

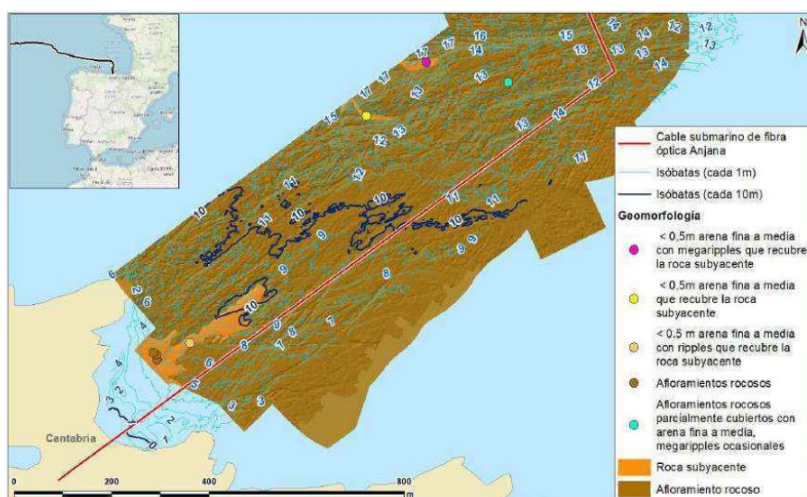


Figura 29. Geomorfología de detalle del aterrizaje del cable “Anjana” en la playa de la Virgen del Mar (diciembre 2021-enero 2022). Fuente: Tecnoambiente SL, 2022.



3.3. Análisis en planta

La forma en planta de una playa depende fundamentalmente de:

- Las fuentes de aportes y sumideros de arena que ésta tenga.
- La capacidad de transporte longitudinal de arena de la dinámica marina local.
- La geología de la zona, en cuanto a sus contornos de confinamiento lateral y transversal por fondo.

Se dice que una playa alcanza una forma en planta en equilibrio "estático" cuando la corriente neta litoral es nula, lo que implica que el transporte litoral potencial es cero, provocando que la línea de costa no varíe en el tiempo llegando a una situación de equilibrio. Esto se produce en playas encajadas lateralmente, donde los elementos que las confinan por los extremos son lo suficientemente largos, para evitar que entre o salga arena del sistema.

En el presente apartado se analizarán todos los elementos aquí mencionados en la playa de la Virgen del Mar para mostrar que la forma en planta de la playa responde efectivamente a la de equilibrio estático.

En primer lugar, es preciso resaltar que la forma en planta de una playa no es capaz de responder instantáneamente a los cambios de dirección del oleaje, por lo que tiende a ubicarse en una posición media o de equilibrio con las condiciones medias energéticas del oleaje, paralela al flujo medio anual de energía. Por tanto, en playas en equilibrio la orientación del flujo medio de energía del oleaje rige la orientación de la línea de costa en planta.

La dirección del flujo medio de energía, θ_m , se ha calculado según la siguiente ecuación:

$$\theta_m = \arctan\left(\frac{F_y}{F_x}\right) \quad [2]$$

Donde F_x y F_y son las componentes del vector flujo de energía. El vector flujo medio anual de energía es el vector suma de los flujos de energía de todos los oleajes en un año. Según la serie de oleaje del punto GOW, este flujo medio resulta N40°W.

La isla de la Virgen del Mar genera una zona de abrigo donde se ubica la playa en la que los efectos de difracción producidos por dicho obstáculo en los frentes de ola son muy apreciables. En casos como este, la forma en planta de equilibrio estático puede representarse por la expresión parabólica de Hsu y Evans (1989). En este estudio, el ajuste de dicha parábola se ha realizado por medio de la metodología desarrollada por González (1995) a partir de la dirección del flujo medio de energía en el punto de difracción, obteniéndose la forma en planta de equilibrio que se muestra en la siguiente figura, la cual



se aproxima sensiblemente a la forma de la línea de costa en la playa de la Virgen del Mar.

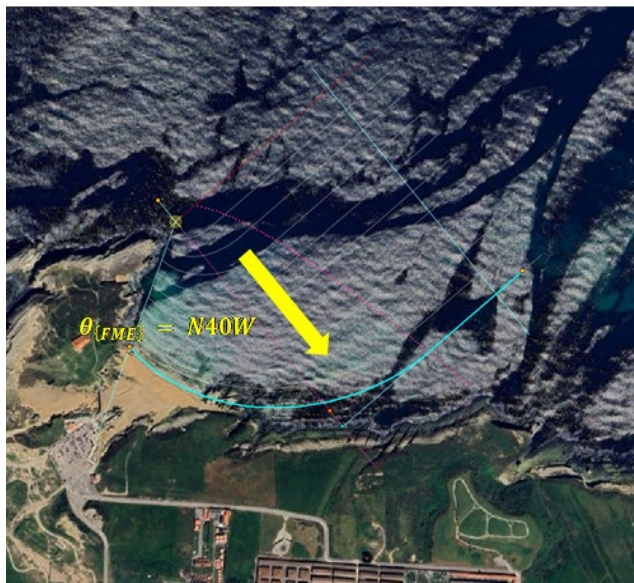


Figura 30. Ajuste a la forma en planta de equilibrio de la playa de la Virgen del Mar.

No existen formulaciones empíricas para estimar la variabilidad invierno-verano a nivel de la línea de costa, aunque puede decirse que es mayor cuanto mayor sea la variabilidad de los oleajes incidentes, la profundidad de cierre o si los estados morfodinámicos son intermedios. De este modo, las playas apoyadas en sustratos rocosos o en zonas protegidas, como es el caso de la playa de la Virgen del Mar, tienen menor variabilidad que las playas con un perfil completo de arena y en una zona expuesta.

Además, a efectos del enterramiento del cable "Sol", la variabilidad de la posición de la línea de costa no resulta tan crítica como la variabilidad del espesor de la capa de sedimento granular a lo largo del perfil del playa, sobre el cable enterrado, la cual ha sido analizada en el apartado anterior.

No obstante, el análisis de las ortofotos e imágenes satelitales disponibles aporta información cualitativa sobre los movimientos que experimenta la línea de costa en la playa de la Virgen del Mar sin que se aprecie ninguna rotación de su forma en planta.

Respecto a los movimientos de traslación de la línea de costa, el análisis se complica debido a la variabilidad del nivel del mar por acción de la marea astronómica y meteorológica. Las imágenes disponibles muestran distintos momentos de la carrera de marea y, dado que se desconoce el momento exacto en el que fue tomada la imagen, no se puede correlacionar con un nivel del mar concreto de la serie temporal disponible. Por ello, para el análisis de la evolución de la línea de costa a partir de ortofotos e imágenes satelitales se han seleccionado las cuatro imágenes que presentan una menor cota del nivel de mar a efectos de su comparación (Figura 31 y Figura 32). Las 4 imágenes seleccionadas representan



distintos momentos a lo largo de un total de 40 años aproximadamente y muestran una playa emergida idéntica, con los mismos afloramientos rocosos y mismo volumen aparente de sedimentos.



Figura 31. Marzo 2024 (izquierda), abril 2023 (derecha).



Figura 32. Mayo 2010 (izquierda) 1977-1986 (derecha).

En resumen, el análisis de la información que proporcionan las ortofotos e imágenes satelitales disponibles (Anexo II), permite afirmar que **no se producen movimientos observables en esta la línea de costa desde hace al menos 70 años**. En las sucesivas imágenes, solo se observan cambios atribuibles a la inundación de la playa por el ascenso y descenso del nivel del mar por acción de la marea astronómica y meteorológica.

3.4. Afección por cambio climático

Las zonas costeras son altamente dinámicas y responden con notable rapidez a cualquier tipo de presión externa, ya sea de origen natural o antropogénico. Por ello, estas zonas son especialmente sensibles a los efectos del cambio climático que puede introducir



modificaciones en el clima marítimo, entre otras. Además del consabido ascenso del nivel medio del mar, el cambio climático puede provocar alteraciones en la frecuencia, la intensidad, la extensión o la duración de eventos extremos. Sin embargo, en el caso de la playa de la Virgen del Mar, las proyecciones de dirección media y altura de ola en los temporales indican que no habrá cambios significativos, incluso apuntan a una posible reducción en las alturas de ola extremas.

Por ello, en este apartado se caracteriza la potencial afección por cambio climático en la playa de la Virgen del Mar mediante el análisis de las proyecciones de la única dinámica marina relevante en el largo plazo: el ascenso nivel medio del mar, puesto que los efectos del cambio climático sobre el oleaje incidente en la playa de la Virgen del Mar son despreciables (véase apartado 2.1).

Una sobreelevación en el nivel medio del mar genera un aumento en la profundidad del agua en cualquier punto del perfil de playa. En estas condiciones un perfil de playa que previamente se encontraba en equilibrio dejará de estarlo y, en consecuencia, la posición de línea de costa se acomodará al nuevo nivel del mar. La cantidad de movimiento de la línea de costa se puede estimar mediante el esquema propuesto por Bruun (1954), el cual establece que un aumento del nivel medio del mar (sobre elevación), provocará un ascenso del perfil de playa a la vez que un retroceso del perfil de playa que permita equilibrar el volumen de sedimentos depositado y erosionado (Figura 33).

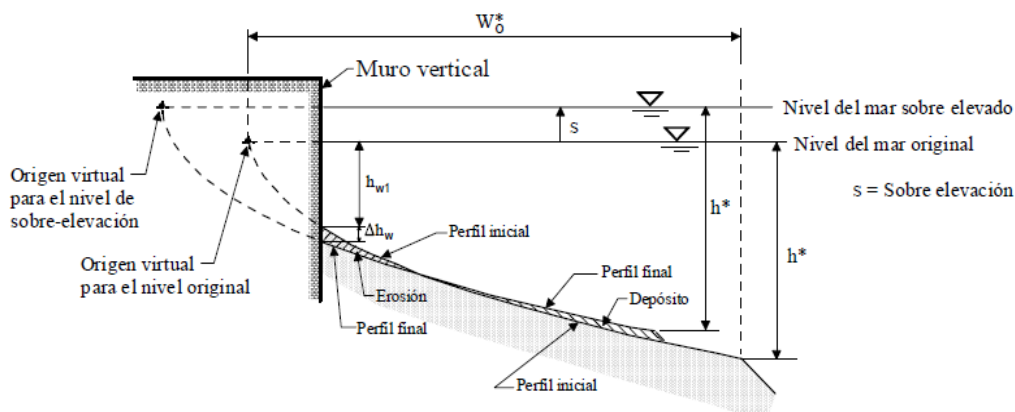


Figura 33. Esquema de la regla de Bruun (1954).

A efectos del presente estudio relativo a la instalación del cable "Sol" en la playa de la Virgen del Mar, el interés en la afección de la subida del nivel del mar se centra en estimar el desplazamiento en vertical (Δh_w) del perfil de playa de equilibrio al pie de la rampa de acceso a la playa, que se puede estimar mediante el siguiente ábaco (Figura 34).



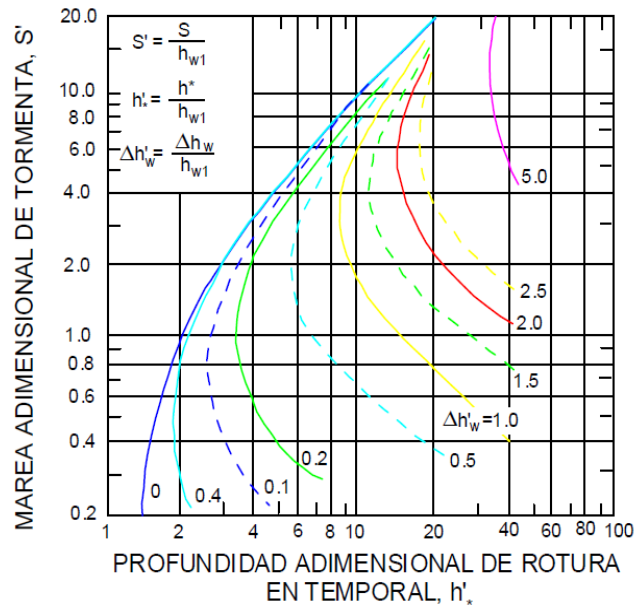


Figura 34. Ábaco de estimación del incremento de calado al pie de un muro por efecto del ascenso medio del nivel del mar.

Asumiendo que el origen virtual del perfil se encuentra en la pleamar viva media, a 2 m sobre el nivel medio del mar y sabiendo que la profundidad de cierre de la playa son 9 m (medida desde la bajamar media, a 1.4 m bajo el nivel medio del mar), resulta un valor de h^* de 12.4 m. El ancho del perfil de playa hasta la profundidad de cierre se estima a partir del perfil medido en unos 420 m. El arranque del perfil junto al pie del muro que trasdosa la playa se sitúa a 1.4 m sobre el nivel medio del mar, por lo que h_{w1} resulta ser de 0.6 m.

Teniendo en cuenta el ábaco de la Figura 34, resulta que **para una sobrelevación del nivel medio del mar de 1.2m (correspondiente al año 2100 según el escenario más pesimista, Figura 14) y de 0.27 (correspondiente al año 2050, Figura 13), se produciría una erosión vertical máxima del perfil de playa de 1.2 m y 0.4 m respectivamente**, localizada al pie del muro que trasdosa la playa junto a la rampa de acceso a la misma.



4. CONCLUSIONES

A partir del análisis realizado sobre la dinámica litoral y la afección potencial por cambio climático en la playa de la Virgen del Mar, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- La playa de la Virgen del Mar está constituida principalmente por **arenas finas y medias** y se sumerge periódicamente durante las pleamares formando parte del tómbolo que une la isla de la Virgen del Mar a la costa durante las bajamares. En el lado Oeste del tómbolo el sedimento granular del sistema se encuentra confinado por una acumulación de gravas y bolos, mientras que en el otro extremo del tómbolo la playa **se orienta al noreste** extendiéndose en una **longitud de unos 400 m**.
- La playa se encuentra **totalmente encajada** entre acantilados bajos, y trasdosada por un paseo y un aparcamiento. Por encima de la bajamar se observa sedimento granular en toda la extensión de la playa, pero en la playa sumergida se observan algunos afloramientos rocosos en la zona de aguas más someras y un fondo predominantemente rocoso con solo algunos parches arenosos en aguas más profundas.
- Para el análisis de la dinámica litoral de la playa se ha asumido la hipótesis de **ortogonalidad** y la **segregación por escalas**.
- En el **corto plazo** se ha analizado el **perfil activo de la playa**. A la vista de la profundidad de cierre de Birkemeir (1985), la batimetría de la playa sumergida y la geomorfología local se confirma que no pueden producirse sumideros de sedimento por acción de los temporales sobre el sistema sedimentario, puesto que el sedimento de la playa se encuentra confinado entre afloramientos rocosos en los extremos de la playa y a su pie. Por lo tanto, no se espera que se produzcan pérdidas netas de sedimento en la playa por acción de los temporales.
- En el **medio plazo** se ha analizado la **variabilidad estacional del perfil de playa**. Según el modelo de perfil biparabólico de equilibrio de Bernabeu (1999), el perfil de playa de invierno (correspondiente al perfil medido en marzo de 2025) presenta una acumulación de sedimento en la playa sumergida y menor espesor de sedimento en la parte alta del perfil. Tras el periodo estival, se espera que se produzca una migración de sedimentos a lo largo del perfil hacia la parte alta de la playa, acumulando hasta 1.6 m de sedimentos junto al trasdós de la playa (rampa de acceso) y erosionando hasta 1 m la columna de sedimento en la zona de rompientes (en torno a los 5 m de profundidad). En estudios previos realizados se confirma esta reducción del espesor de sedimentos en esta zona del perfil, con una mayor presencia de afloramientos rocosos. Por lo tanto, se confirma que hay una cierta variabilidad estacional en la forma del perfil de playa.
- En el **largo plazo** se ha analizado la **planta de equilibrio de la playa**. La parábola de Hsu y Evans (1989) condicionada por la dirección el flujo medio de energía del oleaje y la difracción en torno a la isla de la Virgen del Mar, se ajusta bien a la forma en planta observada en las ortofotos e imágenes satelitales que cubren un periodo de 70 años y en las que no se observan cambios. Por lo tanto, se confirma que la forma en planta de la playa se encuentra en equilibrio estático.
- En el **muy largo plazo** se han estudiado los **efectos del cambio climático**. Las



proyecciones de dirección media y altura de ola en los temporales indican que no habrá cambios significativos en el muy largo plazo, incluso apuntan a una posible reducción en las alturas de ola extremas. Por lo tanto, se puede concluir que los efectos del cambio climático sobre el oleaje incidente en la playa de la Virgen del Mar son despreciables. Así pues, la única dinámica marina relevante en el largo plazo corresponde al ascenso nivel medio del mar causado por el cambio climático. Teniendo en cuenta la regla de Bruun (1954) aplicada sobre el perfil de playa medido, en el escenario pesimista de ascenso del nivel medio del mar en el año 2100, se produciría una erosión vertical máxima del perfil de playa en su parte alta de hasta 1.2 m y de 0.4 m en el año 2050.

En conjunto, los resultados confirman la estabilidad de la forma en planta de la playa de la Virgen del Mar frente a la dinámica litoral actual y futura y el confinamiento de la arena existente en el sistema sedimentario. En lo que respecta a la estabilidad del perfil de playa, se estima que la variabilidad vinculada al ciclo invierno-verano supone cambios en la cota de la parte alta de la playa (junto a la rampa de acceso a la misma) de hasta 1.6 m y de 1 m en la zona de rompientes (en torno a los 5 m de profundidad en la playa sumergida). Adicionalmente, se estima que las proyecciones de ascenso de nivel medio del mar producirán erosiones en la parte alta del perfil de playa de hasta 0.4 m en 2050 y 1.2 m en 2100.

A la vista de lo cual se recomienda enterrar el cable o bien hasta alcanzar el sustrato rocoso o bien 2.8 m en la arena de la playa en su parte alta (por encima de la bajamar) y 1 m en la playa sumergida (hasta la profundidad de cierre, situada a 9 m respecto de la bajamar), a fin de evitar su desenterramiento hasta el año 2100. Para evitar desenterramientos hasta el año 2050, es suficiente con enterrar el cable 2 m en la arena de la playa en su parte alta y 1 m en la playa sumergida.

La posible ocurrencia de eventos de desenterramiento del cable depende tanto de la profundidad de la excavación como de la forma del perfil de playa en el momento en el que se lleve a cabo el enterramiento del cable. Si las profundidades de enterramiento anteriormente recomendadas no son practicables, se recomienda diseñar un programa de re-enterramiento progresivo del cable vinculado a la monitorización de la forma del perfil de la playa que debe iniciarse en el momento de su enterramiento.

En cualquier caso, las implicaciones del desenterramiento del cable se limitan a potenciales afecciones al propio cable y molestias a los usuarios de playa, si bien el cable estará protegido por medias cañas para evitar daños. Cabe destacar que la reducida sección que presenta el cable no puede suponer una interrupción al transporte litoral o modificar la morfodinámica local en modo alguno, aún en el caso de quedar desenterrado ocasionalmente.



ANEJO I.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



ÁMBITO- PREFIJO

GEISER

Nº registro

REGAGE26e00049138970

CSV

GEISER-f24d-a9fb-332b-6774-4942-df56-c1f4-c7cf

DIRECCIÓN DE VALIDACIÓN

<https://run.gob.es/hsbzvympyF>

FECHA Y HORA DEL DOCUMENTO

22/05/2026 13:05:53 Horario peninsular



GEISER-f24d-a9fb-332b-6774-4942-df56-c1f4-c7cf

1. INTRODUCCIÓN

Para el estudio de dinámica litoral en la playa de la Virgen del Mar, resulta fundamental el conocimiento de la naturaleza de los fondos marinos de la zona; por ello ha sido necesaria la realización de una campaña de campo para caracterizar detalladamente el sedimento.

Durante la campaña de campo llevada a cabo el 19 de junio de 2025 por miembros del IH Cantabria, se tomaron 4 muestras de sedimento en un perfil intermedio de playa (Figura 1, Figura 2), sensiblemente coincidente con el trazado del cable en su aterrizaje.



Figura 1. Localización de las 4 muestras de sedimento en el perfil intermedio de la playa (imagen de Google Earth).



Figura 2. Fotografía del 19 de junio de 2025 del perfil de playa marcado para la toma de muestras de sedimento.



ANEJO I. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

La toma de muestras se llevó a cabo durante la segunda bajamar del día que tuvo lugar a las 17:35, con una altura de 1.2 m bajo el nivel medio del mar local.

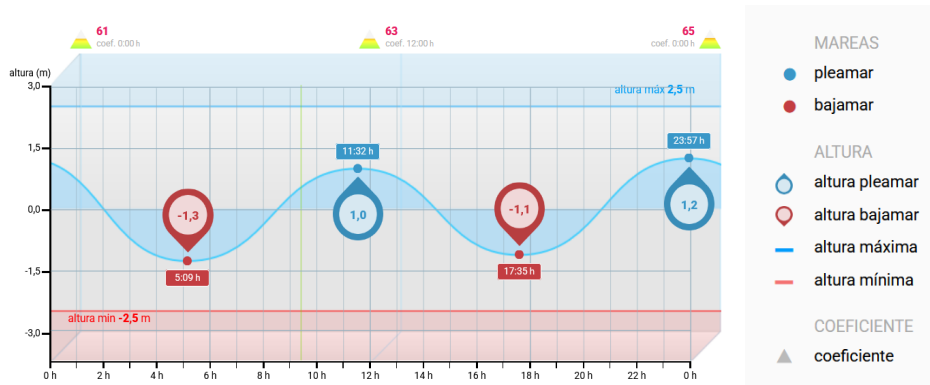


Figura 3. Tabla de mareas de Santander el 19 de junio de 2025.

En la Tabla 1 se presentan los resultados del análisis granulométrico de las muestras realizado el 20 de junio de 2025 en el laboratorio IHLab Bio², para caracterizar el sedimento presente en la bajamar, media marea, pleamar y terraza. El método aplicado para el análisis corresponde a **Granulometría, PNT-SED-006**: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado. Basado en: UNE-EN 933-1:2012 y UNE-EN ISO 17892-11:2020.

Tabla 4. Resultados del análisis granulométrico.

GRANULOMETRÍA								
MUESTRA	>4 mm (%)	<4 mm >2 mm (%)	<2 mm >1 mm (%)	<1 mm >0.5 mm (%)	<0.5 mm >0.25 mm (%)	<0.25 mm >0.125 mm (%)	<0.125 mm >0.063 mm (%)	<0.063 mm (%)
1. Baja	0.00	0.02	0.67	15.11	48.49	35.18	0.44	0.09
2. MM	0.00	0.00	0.27	6.54	45.65	46.98	0.52	0.04
3. Terraza	0.00	0.07	0.11	2.69	44.92	51.25	0.64	0.33
4. PM	0.00	0.04	0.10	2.99	44.42	50.99	0.58	0.87

A continuación, se presentan las curvas granulométricas correspondientes a cada una de las muestras de sedimentos.

² Laboratorio de Hidrobiología < IHCantabria



ANEJO I. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

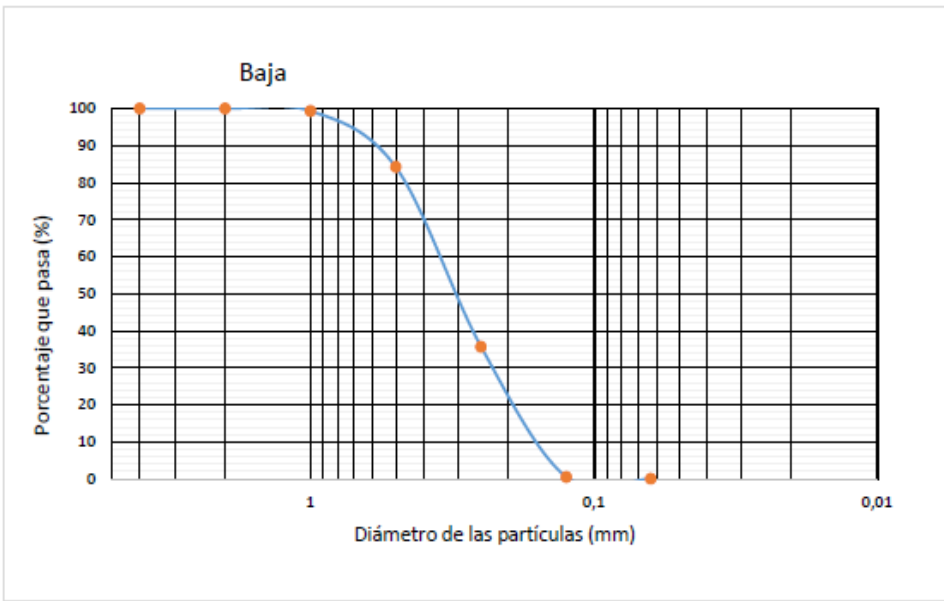


Figura 4. Curva granulométrica de la muestra 1 – Bajamar.

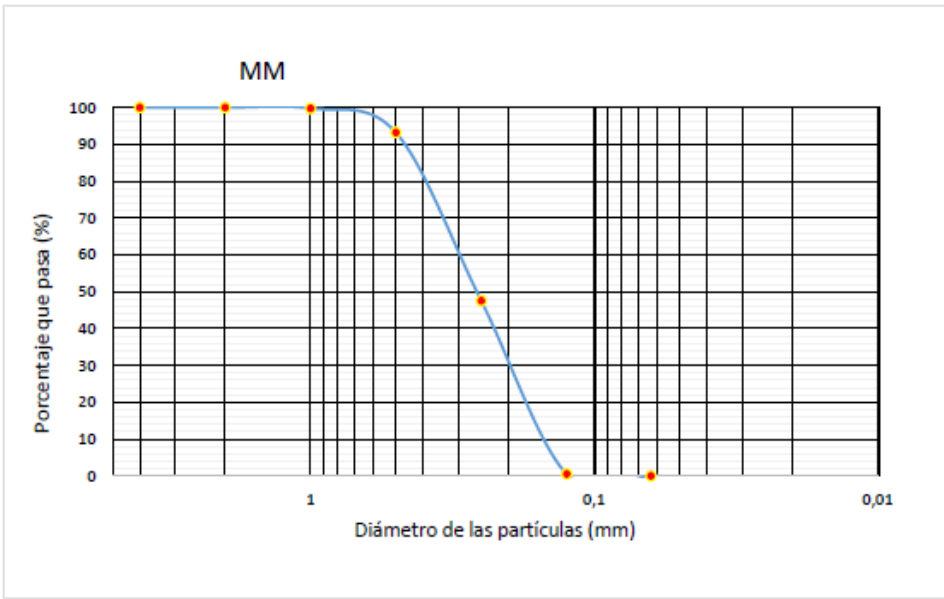


Figura 5. Curva granulométrica de la muestra 2 – Nivel Medio.



ANEJO I. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

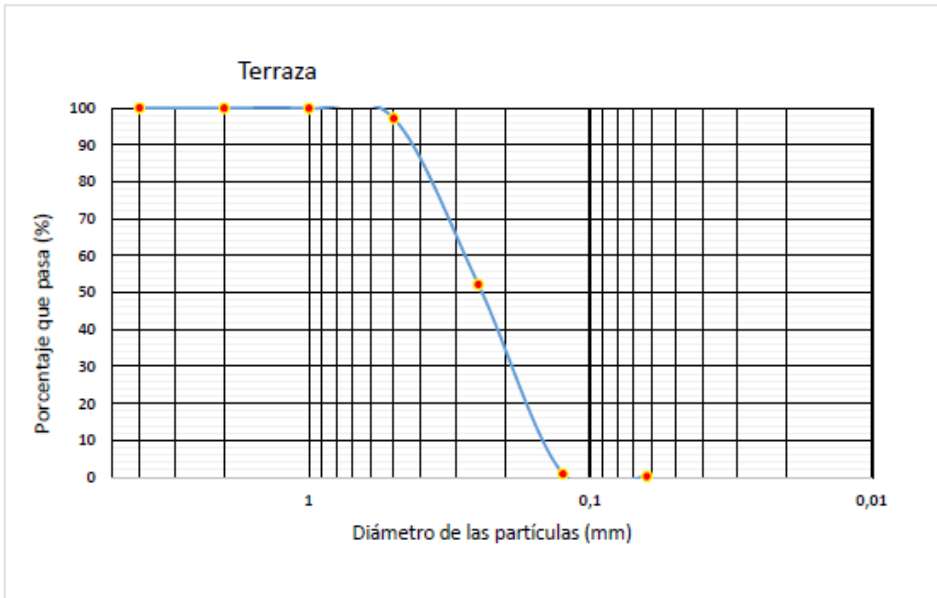


Figura 6. Curva granulométrica de la muestra 3 - Terraza.

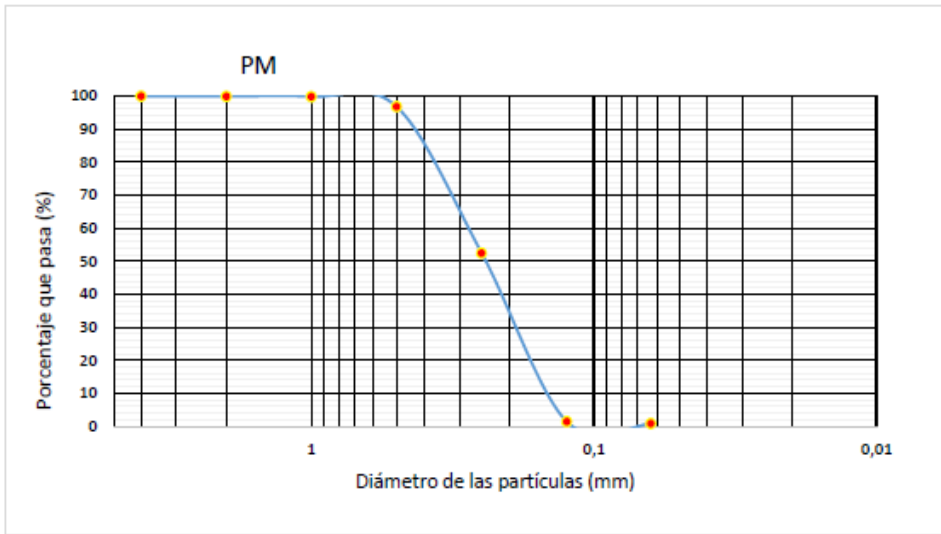


Figura 7. Curva granulométrica de la muestra 4 - Pleamar.

En resumen, las 4 muestras presentan arenas finas y medias con D_{50} que varía entre 0.244 mm en la muestra tomada en la línea de pleamar y 0.324 mm en la muestra tomada en la bajamar, como se muestra a continuación en la Tabla 2.



ANEJO I. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tabla 5. Resultados obtenidos en los análisis de D16, D50 y D84.

MUESTRA	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)
1. Baja	0.180	0.324	0.499
2. MM	0.166	0.263	0.450
3. Terraza	0.162	0.245	0.427
4. PM	0.161	0.244	0.428



ANEJO II.

ORTOFOTOS E IMÁGENES SATELITALES



ÁMBITO- PREFIJO

GEISER

Nº registro

REGAGE26e00049138970

CSV

GEISER-f24d-a9fb-332b-6774-4942-df56-c1f4-c7cf

DIRECCIÓN DE VALIDACIÓN

<https://run.gob.es/hsbzvympyF>

FECHA Y HORA DEL DOCUMENTO

22/05/2026 13:05:53 Horario peninsular



GEISER-f24d-a9fb-332b-6774-4942-df56-c1f4-c7cf

1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se presentan las imágenes seleccionadas de las fuentes disponibles: Google Earth, de la fototeca del Instituto Geográfico Nacional (IGN)³ y del visualizador web de cartografía del Gobierno de Cantabria⁴ (Mapas Cantabria). A continuación, se ilustran las imágenes desde la más reciente a la más antigua.

2. IMÁGENES



Figura 1. Imagen de Google Earth, febrero 2025.

³ [Comparador PNOA Histórico | IGN-CNIG](#)

⁴ [Mapas Cantabria](#)



ANEJO I. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



Figura 2. Imagen de Mapas Cantabria, 2024.



Figura 3. Imagen de Google Earth, marzo 2024.



ANEJO I. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



Figura 4. Imagen de Mapas Cantabria, 2023.



Figura 5. Imagen de Google Earth, abril 2023.



ANEJO I. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

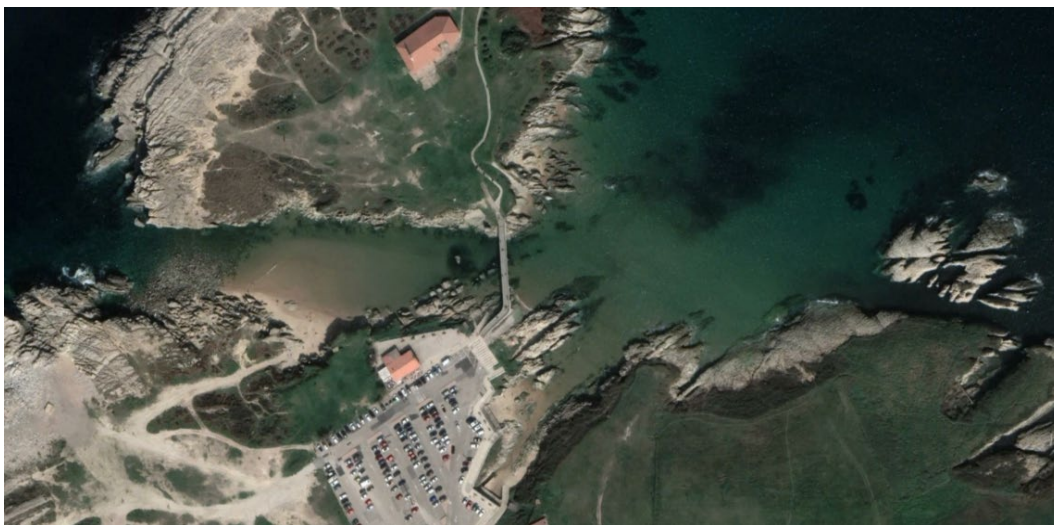


Figura 6. Imagen de Google Earth, marzo 2022.



Figura 7. Imagen de Google Earth, octubre 2020.



ANEJO I. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



Figura 8. Imagen de Google Earth, julio 2020.



Figura 9. Imagen de Google Earth, junio 2020.



ANEJO I. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

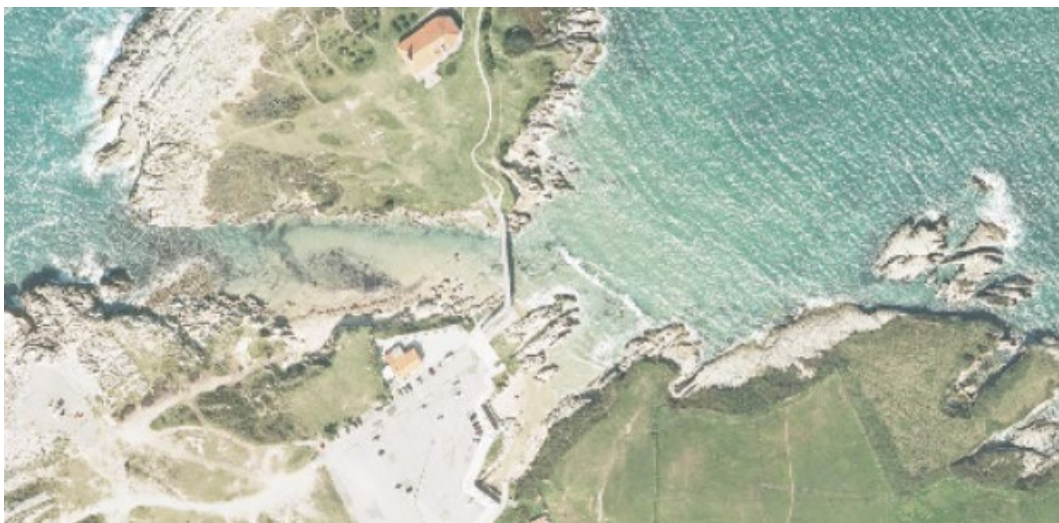


Figura 10. Imagen del IGN, 2020.



Figura 11. Imagen de Mapas Cantabria, 2018.



ANEJO I. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



Figura 12. Imagen del IGN, 2017.



Figura 13. Imagen de Google Earth, octubre 2014.



ANEJO I. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



Figura 14. Imagen de Mapas Cantabria, 2014.



Figura 15. Imagen de Google Earth, marzo 2011.



ANEJO I. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



Figura 16. Imagen del IGN, 2010.



Figura 17. Imagen de Google Earth, mayo 2010.



ANEJO I. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



Figura 18. Imagen de Google Earth, abril 2010.

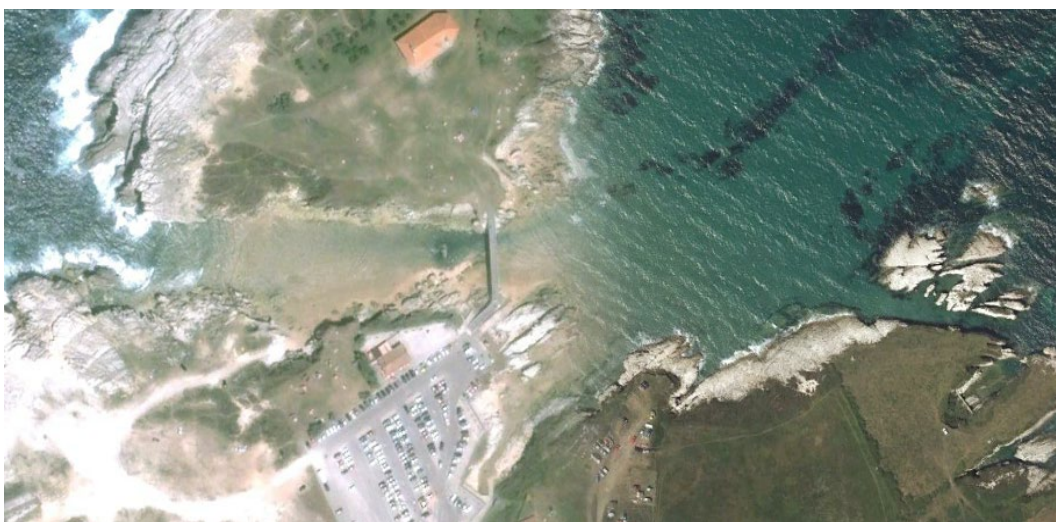


Figura 19. Imagen de Google Earth, agosto 2007.



ANEJO I. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



Figura 20. Imagen del IGN, 2007.

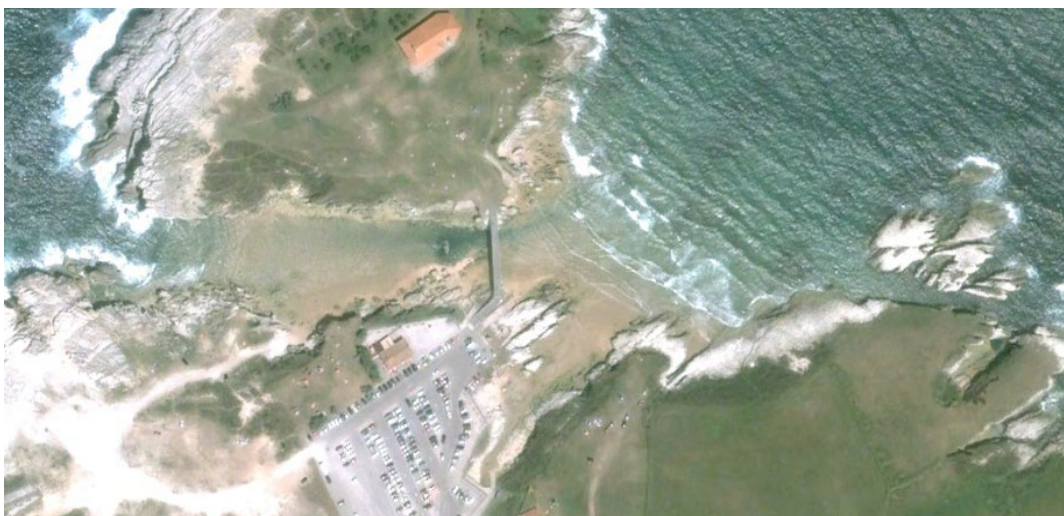


Figura 21. Imagen de Google Earth, julio 2006.



ANEJO I. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



Figura 22. Imagen del IGN, 2005.



Figura 23. Imagen de Mapas Cantabria, 2002.



ANEJO I. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



Figura 24. Imagen de Google Earth, diciembre 2002.



Figura 25. Imagen de Mapas Cantabria, 2001.



ANEJO I. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



Figura 26. Imagen de Mapas Cantabria, 1989-1990.



Figura 27. Imagen de Mapas Cantabria, 1977-1986.



ANEJO I. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

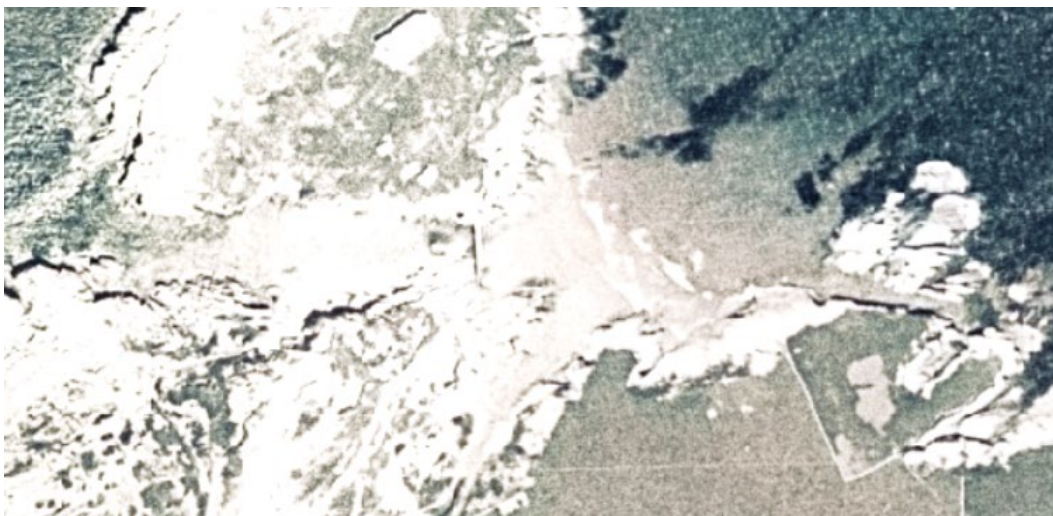


Figura 28. Imagen del IGN, 1956-1957.



- AII. 15 -

ÁMBITO- PREFIJO

GEISER

Nº registro

REGAGE26e00049138970

CSV

GEISER-f24d-a9fb-332b-6774-4942-df56-c1f4-c7cf

DIRECCIÓN DE VALIDACIÓN

<https://run.gob.es/hsbzvymypyF>

FECHA Y HORA DEL DOCUMENTO

22/05/2026 13:05:53 Horario peninsular



GEISER-f24d-a9fb-332b-6774-4942-df56-c1f4-c7cf